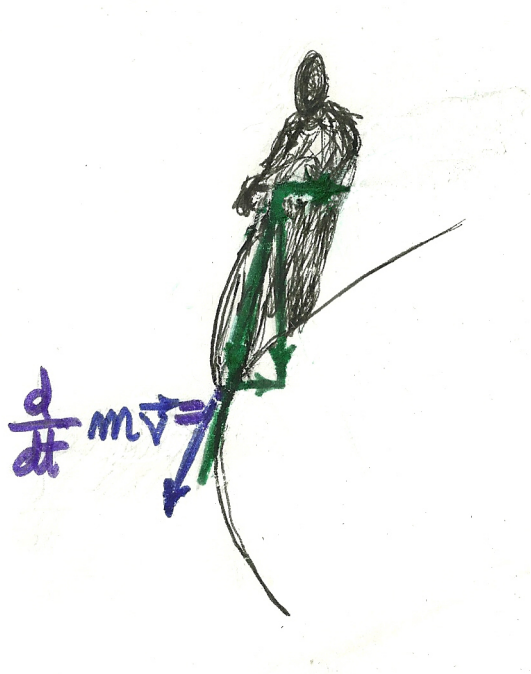
ANDREA PAOLINI

Trattatello (poetico) sulla bicicletta



www.mathforlife.net

Andrea Paolini

Trattatello (poetico) sulla bicicletta

www.mathforlife.net

MathforLife: medicina, ecologia, … (solo) libri

Libri sulla medicina e l'ecologia, ma anche sull'arte…e la letteratura, la poesia, il teatro…

Un progetto incentrato sulla partecipazione: libri aperti, libri discussi…

Giugno 2025 – Quarta Edizione rivista
Progetto MathforLife

Questo libro o edizioni successive possono essere lette gratuitamente su:
http://www.mathforlife.net/Books(free%20readings)/Trattatello%20(poetico)%20sulla%20bicicletta/Trattatello.html
e su:
https://archive.org/details/trattatello-poetico-sulla-bicicletta_20250618

La stampa di questo libro può essere eventualmente richiesta all'indirizzo:
http://www.mathforlife.net
La copia, rilegata in brossura con uso di colle di farina e cucitura con filo di canapa, viene stampata con inchiostri di tipo alimentare su carta riciclata da 70 g/m^2 sbiancata senza uso di cloro; essa è pertanto da tenere lontana dalla luce solare, e si raccomanda di non leccarsi le dita per girare le pagine.

Eventuali donazioni possono essere fatte su:
http://www.mathforlife.net/Donate
Per qualsiasi commento o correzione, scrivere a:
contribution@mathforlife.net
Quelli accettati saranno citati nei ringraziamenti, e il libro diventerà un libro collettivo.

Licenza: Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International

Nota

Nel seguito verrà preso in considerazione solamente l'uomo nella sua completa integrità fisica, ossia dotato della piena capacità d'uso degli arti superiori e inferiori. Eppure credo che le persone con handicap fisici provino, nell'uso dei veicoli a propulsione umana loro dedicati, una gioia ancor maggiore di quella sperimentata, nel guidare una "normale" bicicletta, da chi possiede tutte le capacità motorie. Nelle prossime edizioni cercherò di colmare questa lacuna, trattando anche delle macchine loro dedicate e delle loro evoluzioni.

Credo comunque che anche loro, al pari di tutti quelli che non hanno la fortuna di poterla guidare, possano cogliere tutta la magia dell'andare in bicicletta.

Ringraziamenti

Grazie a internet, il libro può incrementare il suo carattere dinamico, perché più agevolmente se ne possono far uscire nuove edizioni, e diffonderle dappertutto (le edizioni passate possono essere conservate, ma con poca forza vitale conservate). Ma si può tentare, con uno slancio ideale, ancora di più: farlo diventare un libro collettivo, integrando i contributi dei lettori, che poi ne diventeranno i coautori.

Un libro diventa dinamico, in divenire, [transitorio, frenetico] a scapito del passato, svuotando il libro della sua dimensione intima, di memoria, "statica", ma a scapito anche dell'attesa della prossima edizione, in un frenetico susseguirsi di nuove edizioni.

L'idea che però questo si possa fare, un libro dinamico ma anche statico e anche proiettato veloce nel futuro, è supportata dal fatto che esiste la bicicletta, e che con essa la possibilità che si possa fluire stando in equilibrio, prendendo in giro la gravità.

Ad oggi, il suo nucleo principale è stato scritto da Andrea Paolini nel 2012-2013, che poi lo ha successivamente ampliato.

Alla data odierna Francesca Vivalda ha fatto una meticolosa revisione del testo e contribuito al miglioramento e correzione della sua forma in alcuni punti.

[NO (sarà di tutti): Coloro che contribuiranno allo sviluppo di questo libro ne diventeranno coautori e quindi gli autori saranno: "Andrea Paolini et altri"].

“L’uomo non è perfetto”

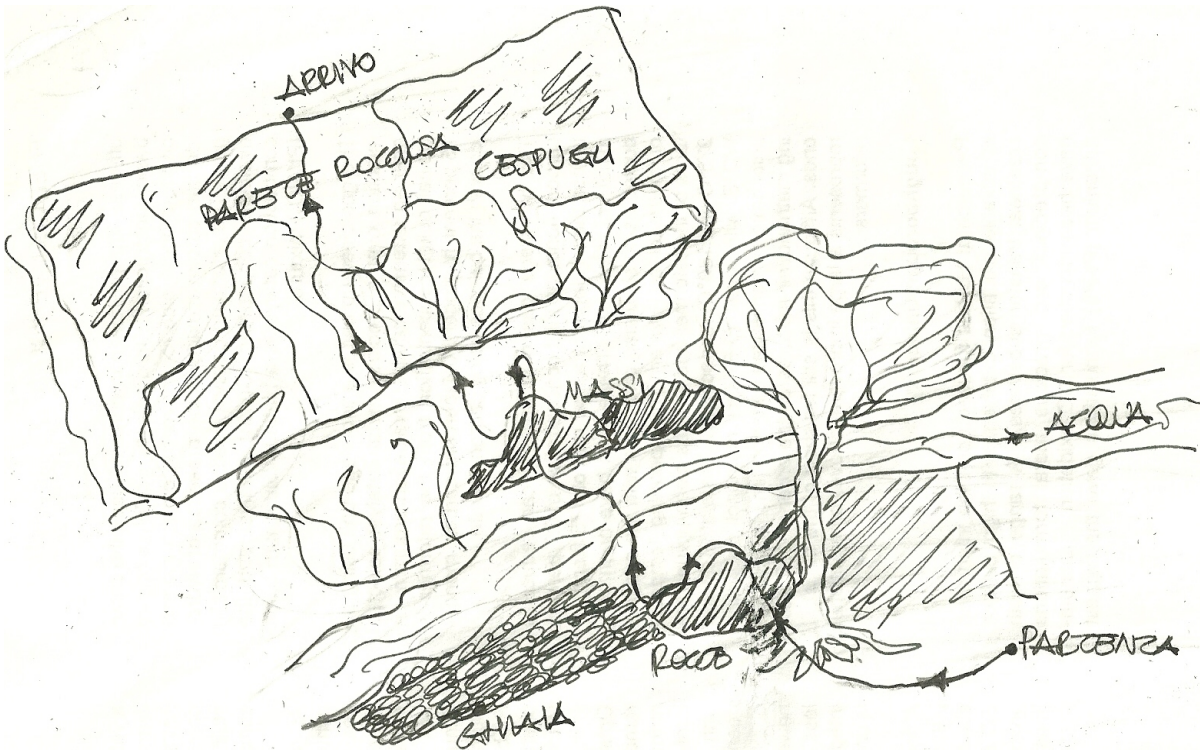
Un senso di piacevole assurdità riaffiorava a sorprendermi ogni volta che, con attonita meraviglia, vedevo i principii fisici allentare la presa su noi umani, smettere di essere regole inviolabili per lasciare avverarsi i nostri sogni. La meravigliosa spensieratezza di poter andare veloce, senza sforzo, sulla bicicletta, mi inebriava e riusciva ad attenuare lo smacco di non aver compreso, dopo una vita dedicata agli studi scientifici, quale arcana legge lo permettesse, mitigava la rivalsa della ragione e la reazione del mio orgoglio. Ma come è possibile che in bicicletta io possa passeggiare in completa rilassatezza per chilometri e chilometri più velocemente che se corressi, quando di corsa, con quelle mie stesse gambe, non riesco a fare neppure due isolati ad una velocità che non è nemmeno la metà? Che io pedali leggero nel vento, per la città o la campagna, senza l'ausilio di un motore, senza bisogno di una discesa, ma solo, e sempre, con queste mie sole gambe? Come possono i concetti fisici di energia, quantità di moto e potenza andare a farsi benedire? Che marchingegno è mai questo che permette all'uomo di procedere molto più velocemente che con le sue stesse gambe? Forse questo dispositivo inventato dall'uomo, riesce, in modo strabiliante (sì, non capisco proprio come) a migliorare quanto la Natura ha fatto in milioni di anni, contraddicendo, per giunta, le leggi della dinamica? Come faccio ad andare a quaranta chilometri all'ora e a fare decine di chilometri io che, nella corsa, sono sempre stato scarso e che non ho mai fatto maratone? Che poteri ha questa macchina così semplice (due ruote, un telaio e qualche ingranaggio) per permettere ad un uomo di superare tutti: l'evoluzione, buona parte degli altri animali (anche quelli che usano quattro zampe per correre) e perfino di violare i limiti della fisica?

Mi verrebbe da dire che: "l'uomo non è perfetto", dal punto di vista evoluzionistico, ai fini dello spostamento sulla terraferma. Dio avreb-

-be dovuto farci nascere con una struttura di bicicletta al posto delle gambe. O almeno con le ruote ai piedi. Sì, perché anche i pattini a rotelle vincono la sfida contro un uomo di corsa. Non si va forte come in bicicletta, ma si è là in mezzo.

Il mio iniziale progetto di libro era intitolato: “L’uomo non è perfetto”, frutto dell’entusiasmo per la velocità raggiungibile sui pattini e sulla bici. Il fatto che nessun animale avesse le ruote ai piedi, che il “Caso” non avesse offerto al “Tempo” la possibilità di decretare il successo evolutivo delle ruote, alimentava in me l’eccitante e conturbante tesi che la mente umana avesse davvero qualcosa di divino e non fosse solo il risultato, anch’essa, del “Caso”; oppure doveva indurmi alla prudenza. Questa mi consigliava di analizzare il tipo di percorso prima di decretare un vincitore assoluto tra i tre mezzi di locomozione (le gambe, i pattini e la bici).

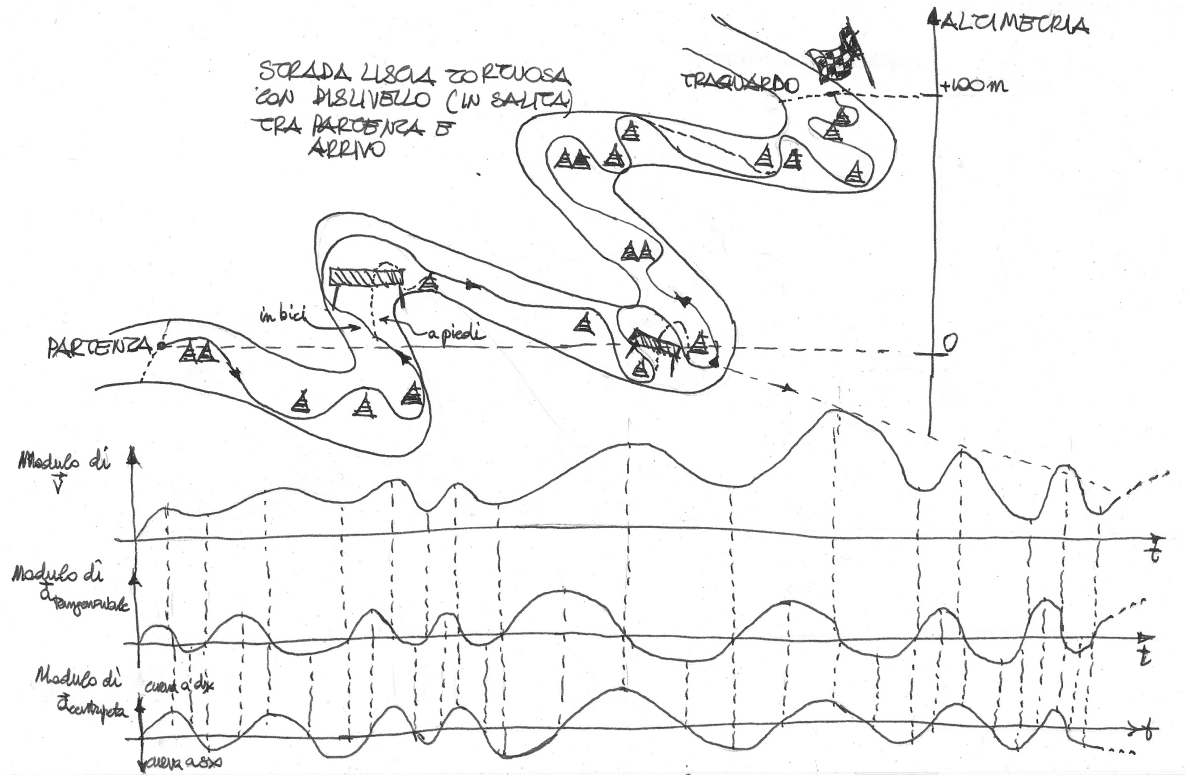
Mi raffigurai allora un percorso “non comune” per l’uomo di oggi, un percorso che non fosse una “strada”:



Chi va più veloce, in questo tipo di sfida?

In quel momento tutto mi diventò chiaro: ci siamo eretti su due zampe per vedere più lontano (superando gli ostacoli e allontanando la linea dell'orizzonte di questo pianeta curvo), perdendo il contributo degli arti superiori alla corsa, ma le gambe non le abbiamo trasformate in ruote affinché rimanessimo più flessibili in tutte le condizioni: per poterci staccare da terra, saltare i massi o scavalcarli puntandoci sopra i piedi. Possiamo *saltare*. Su una bici da trial qualche saltino lo possiamo fare, o possiamo sorpassare qualche masso, ma siamo comunque molto meno agili rispetto ad una persona a piedi: nelle gare di mountain bike o ciclocross, nei tratti più impegnativi, la bici è sempre in spalla, segno che vincono le gambe, anche con quel fardello sul groppone.

E nel caso qui sotto, dove invece una strada liscia esiste ma è necessario fare una stretta gimcana in salita?



Nello stretto, a basse velocità, sui piedi acceleriamo e curviamo più rapidamente che non sulla bici e un po’ meglio che sui pattini (siamo quindi più agili, con un leggero svantaggio solo nelle frenate): se poi il percorso è in salita la differenza aumenta. Certo, se i nostri pattini avessero le ruote bloccabili, potremmo essere competitivi in entrambi i casi analizzati sopra, in cui sono più efficienti i nostri piedi che non le ruote, e quindi essere vincenti in ogni situazione…

La bicicletta è invece sicuramente vantaggiosa quando il percorso è privo di sconnessioni (ossia quando le asperità del terreno sono piccole rispetto al raggio della ruota), le curve e l’ondulazione della strada sono dolci (il raggio di curvatura della traiettoria percorsa è grande rispetto al raggio di sterzatura e al passo della bici) e se ci muoviamo fluidamente (senza forti accelerazioni o frenate). Tuttavia, anche limitandoci a questo particolare caso, com’è possibile che con la sola forza delle nostre gambe riusciamo ad andare tanto veloci con così poco sforzo?

Fluire

Il poter salterellare qua e là grazie ai nostri piedi, vincendo, anche se fugacemente, la gravità, l'andare dove si vuole (il non essere ruota costretta a ricopiare pedestremente il terreno), comporta però dover faticare di più quando una strada levigata esiste e si accetta di percorrerla con la rotonda perfezione della ruota che fluisce, silenziosa, sulla sua sinuosa liscezza. Seduto sul sellino (o comodamente sdraiato, nel caso della bici reclinata) alleggerisco le gambe dalla gravità e, nell'assecondare i cambiamenti di direzione della strada, concentro tutte le mie forze esclusivamente sullo "spingere", sul fendere l'aria (con il vento unico nemico, o compagno di svagatezze e di libertà), accondisceso dalla fluidità della rotazione, questa volta dei pedali. L'ulteriore fantastica sensazione regalataci dalle ruote è la prova più concreta che l'ausilio della meccanica può liberarci, seppur in modo fugace, dalla fatica, è la discesa, che non ci risparmia lo sforzo quando la facciamo di corsa o camminando: è la bellezza dello sperimentare dal vero, sul proprio corpo, il principio di inerzia. Sensazione ancora più inebriante se c'è la ruota libera che ci risparmia di lasciar "andare a ruota libera" le gambe (o di staccarle in modo scriteriato): i piedi possono appoggiarsi sui pedali che restano *fermi* perfino quando ci si butta giù in picchiata. Privati della libertà nella dimensione verticale, con la ruota sempre attaccata a terra, percorriamo le "due" dimensioni rimanenti con quella leggiadria che solo l'incredulità per la velocità senza sforzo sa trasmettere. Tuttavia, poiché la linea che possiamo percorrere deve essere "liscia", siamo costretti a stare sempre pronti a scartare eventuali "ostacoli" sul nostro cammino (che siano rilievi o incavi): la ruota esige un preventivo lavoro di levigatura, di pulizia, per "fare strada". Se durante quel magnifico scivolare l'insidiosa affermazione di noi stessi – o, viceversa, il voler perdere il controllo (è l'*ebbrezza* della velocità) – prende le forme della brama di velocità – superare, con lo splendido meccanismo, i limiti della natura umana, ma anche

tutti gli altri – si benedicono quei lindi, artificiali, sterili nastri di asfalto, indispensabili pure per quei veicoli a motore che sono, in verità, gli unici realmente in grado di eccitare la nostra insaziabile volontà di potenza, fino a trasformarla in delirio. La possibilità di scivolare sul nero nastro è oggi "garantita", in questa artificiosa modernità, (quasi) dappertutto, perché tutte le strade sono diventate pista, a scapito della Natura. Nel vicino passato, quando le strade erano sassose vie di campagna attraversate a piedi o in groppa agli animali, la comparsa della bicicletta venne salutata semplicemente con stupore, senza che la si potesse riconoscesse come portatrice di libertà (e di liberazione dalla fatica), ruolo che solo oggi può ricoprire concretamente perché diventata mezzo di trasporto con poche restrizioni, e appunto in seguito alla diffusione delle strade asfaltate.

La mountain bike, forse, a prezzo di una fatica aggiuntiva, potrebbe costituire il giusto compromesso per tentare di arginare il dilagare dello sterile nastro al petrolio e spostare un po' il disequilibrio (anche mentale) dall'artificiale verso il naturale.

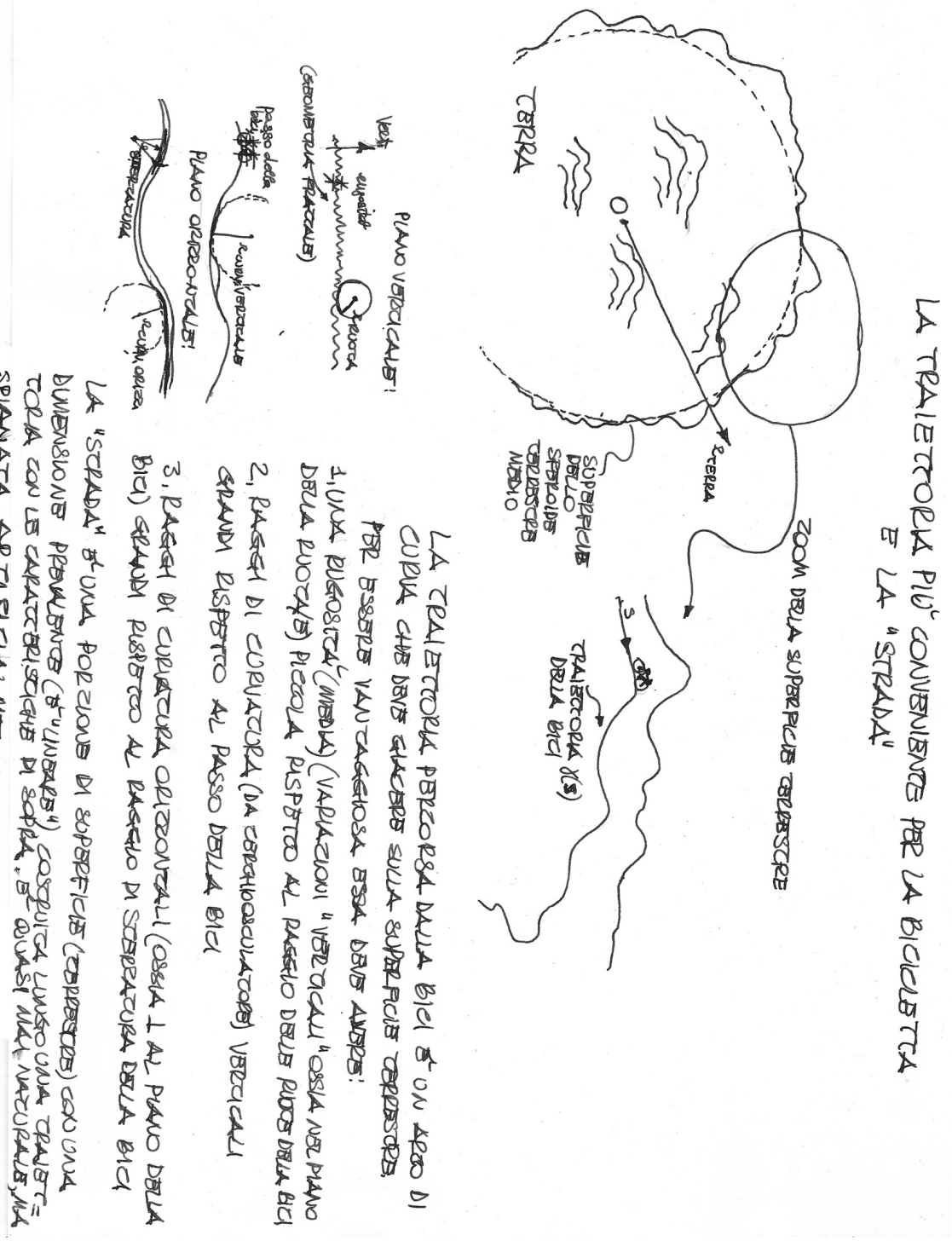


Figura3 La bicicletta, per essere vantaggiosa, necessita di un terreno con determinate prerogative di liscezza e "sinuosità", quindi di una "strada", la quale possiede in genere tali caratteristiche in grado maggiore rispetto alla superficie terrestre su cui è stata tracciata.

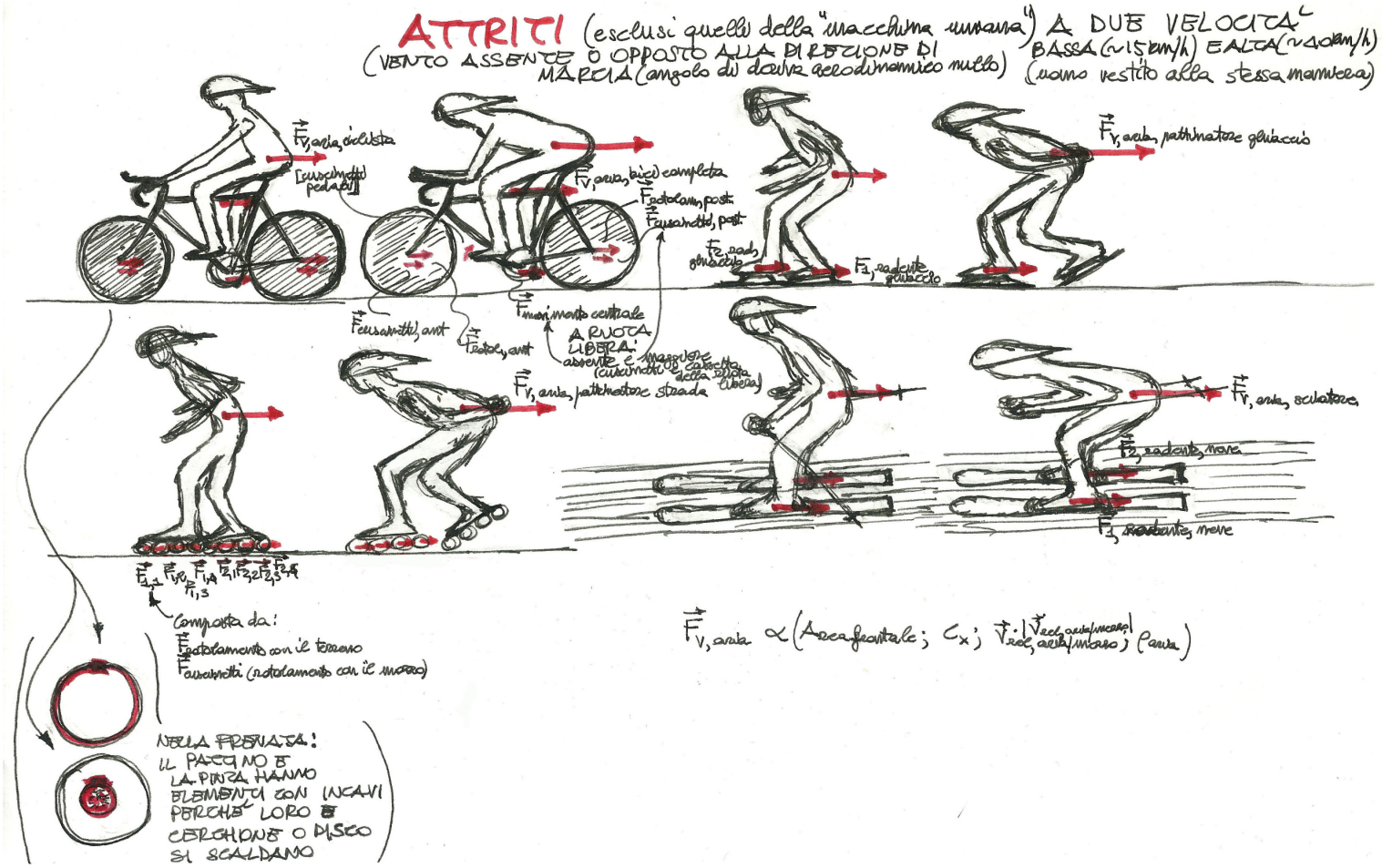


Figura4 Sulla bici rotoliamo e, se la strada è liscia, sembra di "scivolare", grazie alla sempre maggior precisione di realizzazione di ruote e cuscinetti (introdotti nel 1907) e (come avviene nelle bici da corsa) se la pressione dei pneumatici è alta: ce ne accorgiamo sotto una certa velocità, quando l'attrito dell'aria non è preponderante e ci meravigliamo di quanto gli attriti volventi siano bassi. In effetti facciamo ancor meno fatica di quando scivoliamo "davvero" sul ghiaccio o sulla neve.

Ma gli attriti possono rimanere bassi anche ad alte velocità: ciò può capitare anche con una bicicletta non carenata; se è a sella, essa deve essere da corsa così che ci si possa appoggiare al manubrio, ottenendo una ridotta sezione frontale, prossima a quelli di pattinatori e sciatori.

Se ciò avviene, può succedere che, se siamo esaltati dall'alta velocità [=(s, t)=futuro=umanità=cinematica] raggiunta senza sforzo [ma sentendone la forza che facciamo → F=passato=ricordo=staticità], e se la strada è una traiettoria su una superficie "piana rispetto alla velocità con cui è percorsa", ci liberiamo dal voler decidere dove andare: è la fantastica sensazione del "fluire", ossia del seguire una geodetica [e il fluire è l'equilibrio dinamico stabile].

Nota: le frecce delle forze di attrito sono rosse perché indicano che una parte della loro energia è dissipata in calore (anche la nostra pelle e la tuta si scaldano al contatto con l'aria).

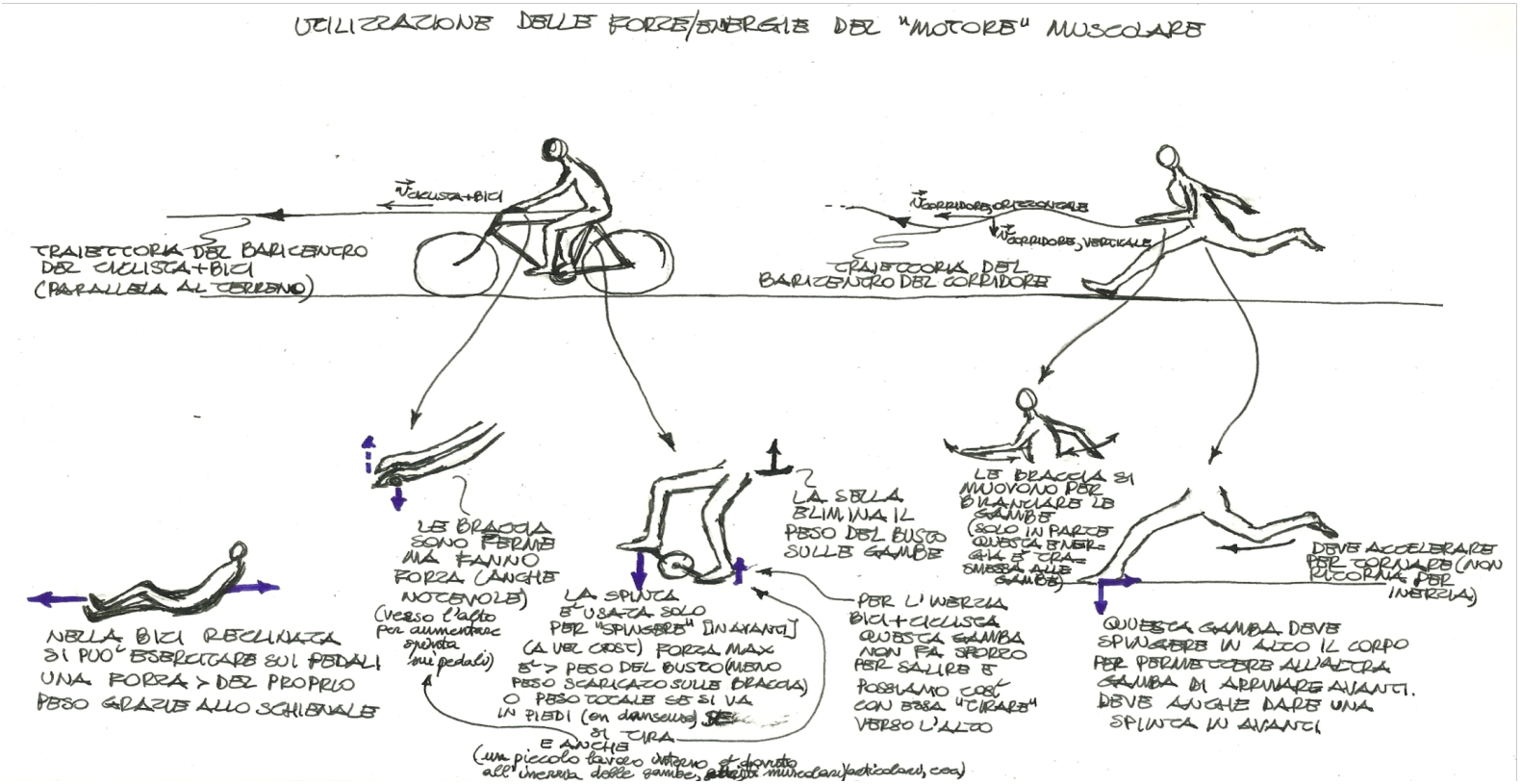


Figura5 "Fluire" vuol dire riuscire a procedere a una certa velocità facendo la minor fatica [energia] possibile (e rispettando un valor massimo per lo sforzo [potenza]). Nella direzione verticale l'obiettivo è raggiunto con l'uso della ruota, con il rotolare (ma solo se le ruote e tutti i cuscinetti dei mozzi e movimento centrale sono rotondi e la strada è liscia e piana) e, come avviene nella bicicletta, stando seduti, cosicché il ciclista può impegnarsi a "spingere" in avanti, ovvero ad agire con una forza propulsiva che viene indirizzata solo nella direzione utile del rotolamento. In direzione orizzontale, i bassi delta-velocità orizzontali avvengono se la forza è "in fase" (nello stesso verso) con la velocità e l'erogazione della potenza nel corso del gesto atletico è il più possibile costante, quindi di nuovo è la bicicletta che vi si avvicina, grazie alla "rotondità" dei cuscinetti, e alla ruota libera che garantisce che la forza propulsiva non sia mai opposta alla velocità, ma solo se vi sono anche le condizioni a che sia vantaggiosa in direzione verticale (ruote e cuscinetti dei mozzi sono rotondi e la strada è "sufficientemente" liscia e piana).

Nella corsa e nella camminata, dove le due direzioni sono meno interdipendenti, i risultati sono peggiori se la strada è "sufficientemente" liscia e piana: si effettuano movimenti verticali, cosicché con le gambe si deve vincere anche la gravità (che è massima in pianura); lungo l'altra direzione, l'avanzare è meno fluido, e in certi momenti la forza è addirittura in controfase. Anche se le gambe mulinano, un po' come nei cartoni animati, se la superficie è piana e liscia, il contatto con il terreno non è mai puntuale come quello della ruota ed è difficile farlo con la giusta velocità per cui il contatto diventa impatto.

A 16 km/h su strada piana e liscia, su una bici da passeggio (su strada liscia) si fa uno "sforzo'' e una "fatica" ("traducendo" le grandezze fisiche potenza/impulso ed energia in sensazione fisiologica) pari a quelli che si compiono camminando a 5 km/h {a che temperatura aria?} (questo raffronto dipende dalla velocità e dalla temperatura dell'aria, poiché l'aria disperde il calore del nostro corpo (ci fa sudare di più o di meno) in funzione della sua temperatura e del suo delta-velocità).

Con la bicicletta si può avanzare, se il rotolamento è favorevole (si veda sopra) a velocità circa costante per molto tempo senza più bisogno che si faccia sforzo, ossia si può godere del principio d'inerzia, a scapito di una coppia addizionale iniziale di avvio (conseguenza dei momenti di inerzia (Fig.6)) questo grazie alle forze centripete interne ai suoi componenti rigidi rotatori (movimento centrale e ruote, oppure ruote solamente se è presente la ruota libera) che si contrappongono alle loro accelerazioni interne.

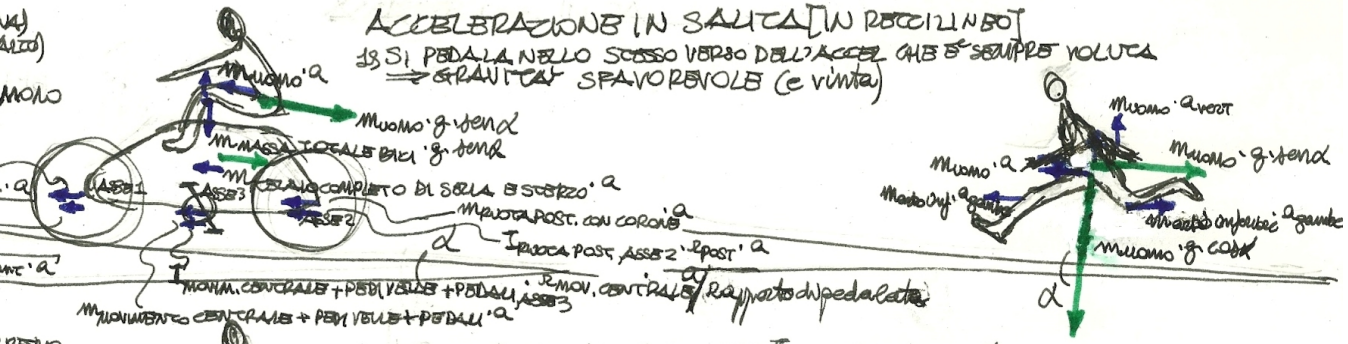
Aggiungiamo che, poiché sforzo e fatica vengono compiuti anche negli esercizi isometrici per via del tremore muscolare, la "bici con sella", in particolare se costringe a mantenere una posizione molto curvata in avanti come nella versione da corsa, può alla lunga [nel tempo] far accumulare stanchezza nelle braccia (si veda Fig.12 e il vantaggio della bici reclinata), per cui a basse velocità (si veda Fig.4) la bici con sella "da passeggio" risulta vantaggiosa rispetto a quella da corsa.

INFLUENZA DELLA MASSA E DEL CAMPO GRAVITAZIONALE

[GLI ARTI SUPERIORI (E LA SCHIENA) POSSONO FARE FORZA (VERSO L'ALTO) SUL MANUBRIO PER AIUTARE QUELLI INFERIORI CHE FANNO LA FORZA MAGGIORE]

ACCELERAZIONE IN SALITA [IN RETTILINEO]

1) SI PEDALA NELLO STESSO VERSO DELL'ACCEL CHE È SEMPRE VOLUTA
⇒ GRAVITÀ SFAVOREVOLE (e vinta)



a = a_long RELATIVAMENTE AL CERCHIO

a_vert = ACCEL. VERTICALE DEGLI ARTI INFERIORI DEL CICLISTA DEL CORRIDORE TUTTO A PEDI

I_GRUPPO, ASSE W sono i momenti di inerzia rispetto all'asse (perpendicolare) intorno a cui il corpo ruota

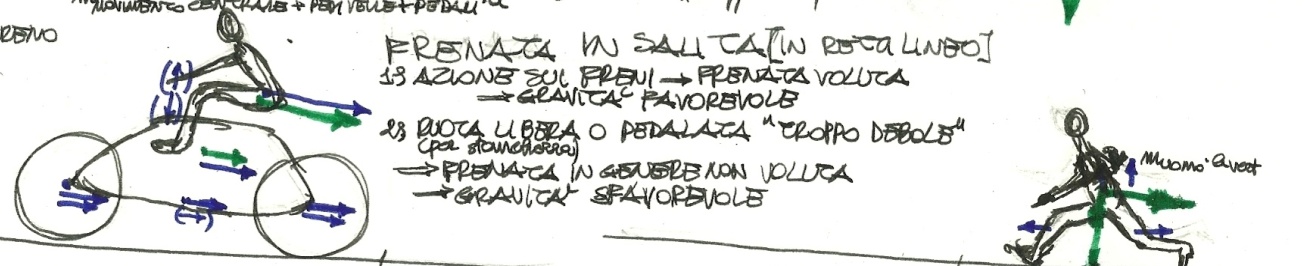
LE FRECCE TRA PARENTESI SONO ASSENTI SE NON SI PEDALA (A RUOTA LIBERA)

(MASSA DELLA CATENA TRASCURATA)

FRENATA IN SALITA [IN RETTILINEO]

1) AZIONE SUI FRENI → FRENATA VOLUTA
⇒ GRAVITÀ FAVOREVOLE

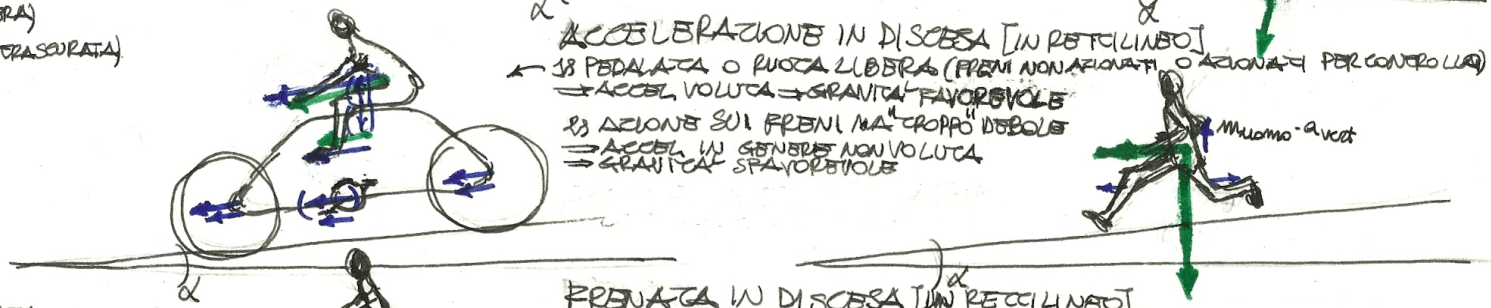
2) RUOTA LIBERA O PEDALATA "TROPPO DEBOLE" (per stanchezza)
⇒ FRENATA IN GENERE NON VOLUTA
⇒ GRAVITÀ SFAVOREVOLE



ACCELERAZIONE IN DISCESA [IN RETTILINEO]

1) PEDALATA O RUOTA LIBERA (FRENI NON AZIONATI O AZIONATI PER CONTROLLO)
⇒ ACCEL. VOLUTA ⇒ GRAVITÀ FAVOREVOLE

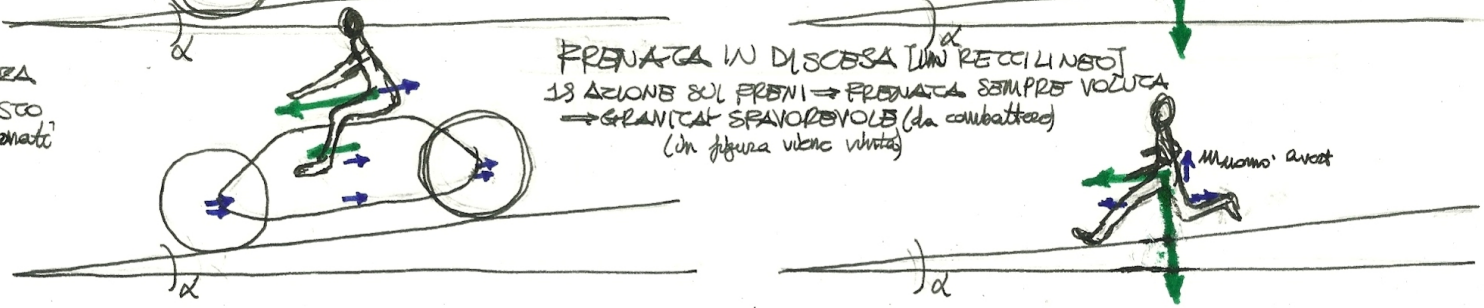
2) AZIONE SUI FRENI MA "TROPPO" DEBOLE
⇒ ACCEL. IN GENERE NON VOLUTA
⇒ GRAVITÀ SFAVOREVOLE



[USATA SOLO FORZA DELLE BRACCIA/BUSTO (qui i freni sono azionati dalle braccia)]

FRENATA IN DISCESA [IN RETTILINEO]

1) AZIONE SUI FRENI ⇒ FRENATA SEMPRE VOLUTA
⇒ GRAVITÀ SFAVOREVOLE (da combattere)
(in figura viene vinta)



NEL TITOLO: non masse ma inerzia e forse di controllo (interne) e gravità (la sola esterna)

La massa fa cambiare traiettoria ossia (spazio, velocità) [a parità di campo esterno e forze di controllo]

Figura6 La bici è sicuramente vantaggiosa, rispetto alla corsa/piedi, a velocità costante in piano (vedere Fig. 4 e precc.). Nelle accelerazioni e frenate (risultanti dall'azione del ciclista (forze interne di controllo) e/o della gravità [si trascurano le altre forze esterne come gli attriti o il vento]), invece, entrano in gioco la massa totale (bici+ciclista) e la sua distribuzione nelle parti rotanti: le forze motrici del ciclista devono opporsi, oltre che alla massa del proprio corpo e ai momenti di inerzia delle sue parti rotanti, anche a quelli della bici. Per massimizzare la volontà (il contributo) del ciclista (massimizzare la variazione del proprio stato, ossia della traiettoria spaziale e della sua velocità di percorrenza, ovvero nel principio variazionale che l'azione minima sia massimizzata rispetto alla variabile di stato, si veda la Fig.9) bisogna minimizzare sia la massa totale che i momenti di inerzia delle parti rotanti (della bici in particolare). Nel caso invece ci si "voglia" "opporre passivamente" ai cambiamenti del proprio stato [della propria traiettoria, posizione spaziale e velocità] (nella situazione qui esaminata alla forza che le salite e le discese ci imprimono, quindi sia quando la gravità è sfavorevole (opposta a quanto desiderato), ma anche quando è favorevole), si può giocare sull'inerzia, andando a ruota libera; nel caso di gravità favorevole, conta solo il momento di inerzia delle parti rotanti e non la massa totale; così, però, ci si oppone anche alle accelerazioni e frenate volontarie: la massa (le inerzie) si oppone alle forze esterne (ai cambiamenti esterni), ma anche alle nostre forze interne (di controllo), alla nostra volontà. La massa entra nella definizione di energia cinetica, quindi è energia ("statica") con la quale, possiamo essere "più immuni" alle forze esterne, e nel contempo quindi anche influire sull'ambiente esterno, ma siccome non possiamo farlo se non in misura minima data l'enormità dell'ambiente rispetto a noi, e per di più in maniera "statica"/involontaria, l'unica scelta razionale è ridurre la nostra inerzia per poter cambiare noi stessi (rispetto all'ambiente) (il nostro stato) favorendo il più possibile le nostre forze (interne: il nostro "libero arbitrio")].

Ragionando secondo natura, il motore umano è dimensionato proporzionalmente alla massa del ciclista (e al momento di inerzia delle sue gambe), non alla massa totale ciclista+bici e ai momenti di inerzia delle gambe più le parti rotanti della bici. Nasce inoltre una dissimmetria accelerazioni/frenate nel confronto con il corridore a piedi: la bici può risultare svantaggiosa solo nelle accelerazioni (volute) (con più probabilità in salita dove la componente verticale si fa più sentire che nel corridore a piedi, un bilancio globale sarebbe necessario) perché nelle frenate (volute, ossia quando il ciclista agisce sui freni) si può faticare di meno che a piedi (a discapito dell'ambiente, ossia di chi non la conduce, si vedano l'ultimo capitolo e Fig. 14) sfruttando l'attrito dei materiali dei freni per dissipare in calore la propria energia cinetica/quantità di moto (scaldando la pastiglia e il disco oppure il pattino e il cerchione, si veda Fig. 5). Possono così venire azionati dalle più deboli braccia, con un piccolo contributo dei muscoli della schiena, al contrario che nella corsa (e nella frenata con contropedalata) nella quale sono usate le gambe, con uno sforzo molto maggiore (e con spazi d'arresto più lunghi).

In questa figura si analizzano i casi più comuni di accelerazioni e frenate in tutte le loro composizioni con le salite e le discese: per ottenere le forze risultanti capaci di imprimere le accelerazioni/decelerazioni (in blu) occorre considerare, oltre la forza gravitazionale (in verde), quelle di attrito della Figura 5. La forza risultante, e l'accelerazione che ne consegue, può non essere nel verso desiderato dal ciclista, ossia quello della forza umana motrice/frenante o della ruota libera (ossia delle forze/non-forze[parametri di controllo longitudinale] decisi dal ciclista).

La forza di gravità può essere favorevole (se nello stesso verso della forza [umana] motrice/frenante o dell'accelerazione/frenata desiderata nel caso di ruota libera) o sfavorevole (nel verso opposto). Si tenga presente che la forza di gravità è proporzionale solo alla massa totale e non ai momenti di inerzia delle sue parti rotanti. Analizziamo i seguenti casi :

- La forza di gravità è favorevole:

  Il suo contributo è massimizzato dalla minimizzazione solo dei momenti di inerzia delle parti rotanti della bici [ed eventualmente del ciclista] (è come, cioè, se tutte le bici pesassero uguali)

- La forza di gravità è sfavorevole:

  1. Se è annullata (ovvero non è nello stesso verso dell'accelerazione longitudinale risultante) il suo contributo è minimizzato minimizzando sia la massa che i momenti di inerzia della bici.
  2. Se non è annullata (è quindi nello stesso verso dell'accelerazione longitudinale risultante) se si pedala o frena il suo contributo è minimizzato dalla minimizzazione della massa della bici e dei momenti di inerzia delle sue parti rotanti, se si è a ruota libera dalla sola minimizzazione dei momenti di inerzia delle parti rotanti.

La massa totale conta di più (il "doppio") dei momenti di inerzia delle parti rotanti nelle accelerazioni (volute) in salita e nelle frenate (volute) in discesa (durante le quali, se bici più ciclista sono leggeri, i freni sono meno "duri" (faticosi da azionare)).

Qui si è tenuto conto solo della questione del controllo longitudinale da parte del ciclista (pedalata, frenata o ruota libera): si è dedotto che basse inerzie aumentano la reattività ai controlli a parità di forza/potenza applicata dal ciclista (si vedano anche le Figg. 9 e 12). Ma ciò può far insorgere problemi di controllo laterale, soprattutto in curva, mettendo in luce i limiti umani: bassi momenti di inerzia delle parti rotanti della bici ne diminuiscono la stabilità, per via della diminuzione degli "effetti" giroscopici: la bici diventa più sensibile alla "piega", con uno sterzo più leggero.

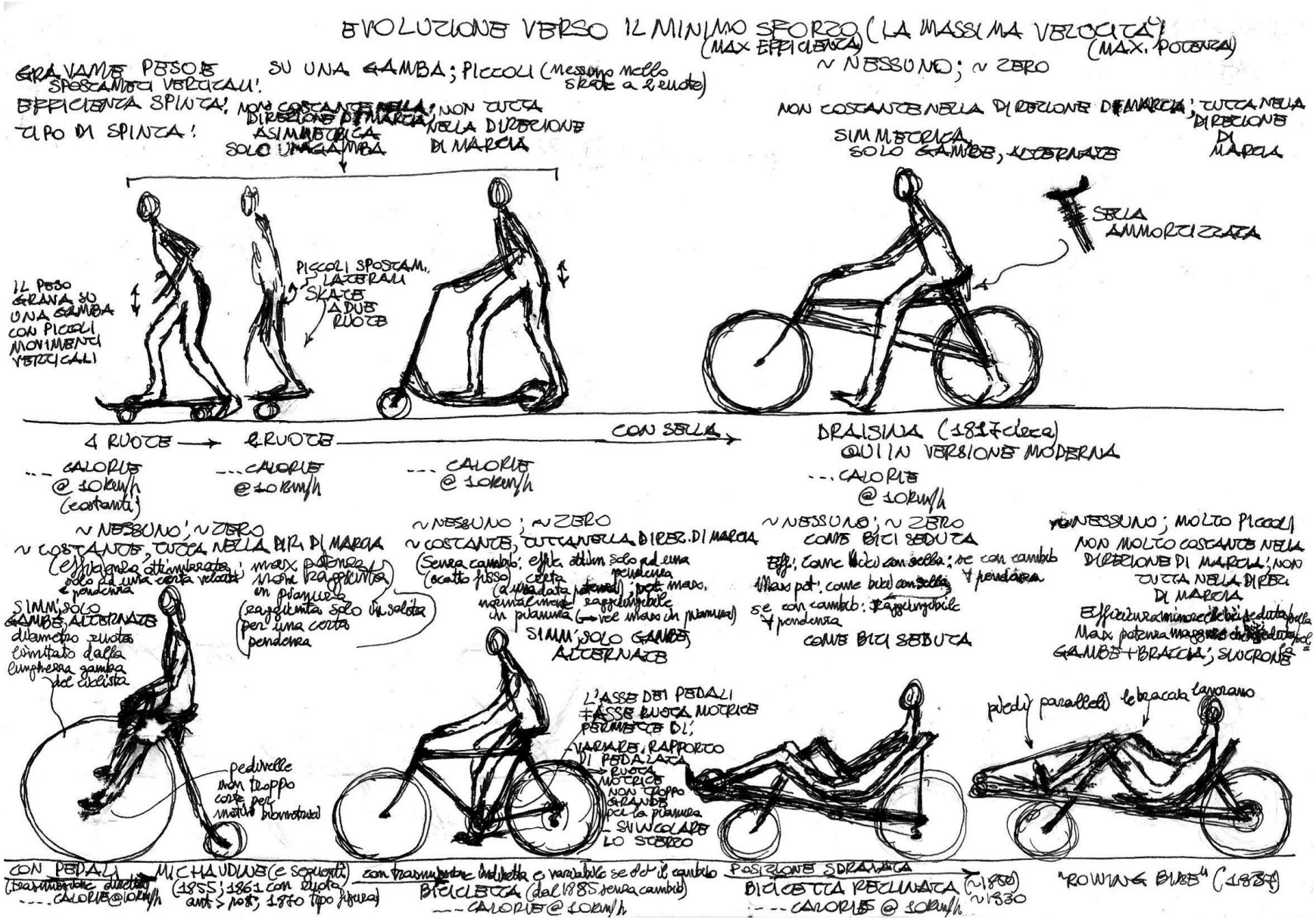

EVOLUZIONE VERSO IL MINIMO SFORZO (MAX EFFICIENZA) (LA MASSIMA VELOCITÀ) (MAX. POTENZA)
GRAVANO PESO SPOSTANDOSI VERTICALI
SU UNA GAMBA; PICCOLI (nessuno nello skate a 2 ruote)
~ NESSUNO; ~ ZERO
EFFICIENZA SPINTA:
TIPO DI SPINTA:
NON COSTANTE NELLA DIREZIONE DI MARCIA; ASIMMETRICA SOLO UNA GAMBA
NON TUTTA NELLA DIREZIONE DI MARCIA
NON COSTANTE NELLA DIREZIONE DI MARCIA; SIMMETRICA, SOLO GAMBE, ALTERNATE
TUTTA NELLA DIREZIONE DI MARCIA
IL PESO GRAVA SU UNA GAMBA CON PICCOLI MOVIMENTI VERTICALI
PICCOLI SPOSTAM. LATERALI SKATE A DUE RUOTE
SELLA AMMORTIZZATA
4 RUOTE → 2 RUOTE → CON SELLA → DRAISINA (1817 circa) QUI IN VERSIONE MODERNA
... CALORIE @ 10 km/h (costante)
... CALORIE @ 10 km/h
... CALORIE @ 10 km/h
... CALORIE @ 10 km/h
~ NESSUNO; ~ ZERO
~ COSTANTE, TUTTA NELLA DIR. DI MARCIA
(Efficienza ottimizzata solo da una certa velocità; max potenza non raggiunta in pianura (raggiunta solo in salita per una certa pendenza)
SIMM; SOLO GAMBE, ALTERNATE
diametro ruota limitato dalla lunghezza gamba del ciclista
~ NESSUNO; ~ ZERO
~ COSTANTE, TUTTA NELLA DIREZ. DI MARCIA
(Senza cambio: efficienza ottima solo ad una pendenza (a velocità data) (ottenuta); pot. max. normalmente raggiungibile in pianura (→ vel. max in pianura)
SIMM; SOLO GAMBE, ALTERNATE
~ NESSUNO; ~ ZERO
COME BICI SEDUTA
Eff.: come bici con sella; se con cambio ↑ pendenza
Max pot.: come bici con sella
se con cambio: raggiungibile ↑ pendenza
COME BICI SEDUTA
~ NESSUNO; MOLTO PICCOLI
NON MOLTO COSTANTE NELLA DIREZIONE DI MARCIA; NON TUTTA NELLA DIREZ. DI MARCIA
Efficienza ottimizzata solo da seduta
Max potenza maggiore che da seduta
GAMBE + BRACCIA; SINCRONE
pedivelle non troppo corte per motivi biomotori
L'ASSE DEI PEDALI
≠ ASSE RUOTA MOTRICE
PERMETTE DI:
- VARIARE RAPPORTO DI PEDALATA → RUOTA MOTRICE NON TROPPO GRANDE PER LA PIANURA
- SINCRONIZZARE LO STERZO
piedi paralleli
le braccia lavorano
CON PEDALI (trasmissione diretta)
... CALORIE @ 10 km/h
MICHAUDINE (e sequenti) (1855; 1861 con ruota ant. > post.; 1870 tipo figura)
con trasmissione indiretta e variabile se ↑ il cambio
BICICLETTA (dal 1885 senza cambio)
... CALORIE @ 10 km/h
POSIZIONE SDRAIATA
BICICLETTA RECLINATA (~1880) ~1930
... CALORIE @ 10 km/h
"ROWING BIKE" (1887)

Figura7 Il monopattino e lo skateboard, dal punto di vista dell'efficienza di utilizzo del motore umano, non si discostano molto dalla corsa, perché sono privi di sella/sedile, per cui obbligano l'utilizzatore a movimenti verticali non trascurabili del suo baricentro, e perché la spinta non è sempre in fase con la direzione di marcia, per cui la velocità non è mai costante (aggiungendosi anche l'assimmetria di spinta (è usata un'unica gamba) risultano ancora meno veloci della corsa). L'introduzione della sella, con la draisina, portò ad evitare gli spostamenti verticali e permise la simmetria nella spinta (si veda anche la Fig. 4). I pedali, a partire dalla Michaudine, permisero di imprimere una forza in fase con la direzione di marcia e diminuirono così i picchi di accelerazione del veicolo (e delle gambe) e portarono a staccare definitivamente i piedi da terra, lanciando la sfida alla gravità (si veda il capitolo seguente) (per il perfezionamento permesso dai fermapiedi bisognerà attendere verso il 1890). Con la bicicletta "moderna" i sistemi di trasmissione della forza motrice diedero la possibilità, anche ad un ciclista con arti inferiori corti e utilizzando una piccola ruota motrice (fino da 14 pollici o meno, come quella usata nelle bici pieghevoli per compattarne la lunghezza) di toccare una velocità massima superiore a quella che un ciclista con lunghi arti inferiori raggiungeva su un velocipede del 1870 con ruota (motrice) anteriore da 50 pollici. L'introduzione del cambio ha permesso infine di variare il rapporto di trasmissione (quello complessivo è determinato da: diametro ruota motrice+rapporto di trasmissione alla catena+lunghezza pedivelle) e quindi di massimizzare il rendimento energetico ad una certa velocità/potenza o di massimizzare la velocità (e le accelerazioni), in funzione anche delle salite/discese (Fig. 13).
Altre varianti della bicicletta permettono di ottenere migliori prestazioni in determinate condizioni (la reclinata a pedali in termini di efficienza, la "rowing bike" per la potenza di picco; si veda il capitolo: "La sfida dell'efficienza").

“Prendere in giro” la gravità (sull’equilibrio)

Il seguire fluidamente l'andamento del terreno, se è vero che ci ha privati del grado di libertà verticale, ci ha tuttavia permesso di assumere un orientamento nello spazio (un apparente nuovo "grado di libertà") che ha dell'incredibile: possiamo rimanere inclinati lateralmente rispetto al terreno senza cadere. Le curve: un altro miracolo della bicicletta. Inclinati su due ruote strettissime, con la faccia protesa verso la strada in segno di sfida contro l'onnipresente forza di gravità, contraddiciamo le "familiari" leggi dell'equilibrio (che contemplano solo l'equilibrio "statico" – erroneamente inteso, secondo l'accezione comune, come: "da fermo" - perché siamo più spesso a piedi che non in bici, e perché i piedi non sono in linea come le ruote della bici). Il miracolo può avvenire proprio perché non siamo fermi. Muoversi per non cadere. Usiamo la nostra energia/quantità di moto (che sprigioniamo pedalando) per equilibrare (pareggiare), in un duello di forze, la gravità (con noi costretti a correre e lei immobile), facendole assumere un ruolo inedito: da forza verso il basso a forza laterale (centripeta), "prendendoci gioco" di lei (più andiamo veloci e più ci possiamo inclinare), sfuggendole e aggirandola ruotandole intorno usando le ruote come fossero pianeti (con l'attrito (laterale) con il terreno come alleato). Pena un'attenzione supplementare per controllare l'inclinazione del busto, la rotazione del manubrio e la nostra velocità (con piccoli o grandi "sforzi" annessi). Il pieno riscatto avviene in rettilineo, dove il meccanismo della bicicletta (per la sua stessa concezione), a dispetto del suo incerto e ridicolo zigzagare, riesce a vincere la gravità restando *autonomamente* e *stabilmente* in equilibrio (il ciclista può addirittura lasciare il manubrio(!), deve solo vincere il timore inziale, una prova che il destino sembra aver escogitato con malizia: più si va veloci e più l'effetto restituisce sicurezza).

Prima dell’invenzione della bicicletta non si era mai visto, in Natura, un essere terrestre che per curvare si inclinasse verso l’interno della curva senza cadere. Dopo *pochi* anni dall’apparizione della bicicletta si sarebbero visti gli aeroplani copiare in virata quello che fanno da sempre gli uccelli per girare, cioè inclinarsi anche loro verso l’interno della curva, lottando contro la gravità in maniera più ardita perché aerea, e vinta, in modo sensazionale, basandosi sull’aiuto dell’impalpabile aria; la bicicletta invece non cerca il sostegno dell’aria, anzi la aborrisce, ne farebbe volentieri a meno (nel vuoto viaggerebbe molto più spedita e sicura (e senza nessun vento laterale disturbatore)), essa è un mezzo di terra e che della terra (attrito compreso) ha bisogno per farsi beffe della gravità.

L’incredibile equilibrio “dinamico” stabile che sembrerebbe un ossimoro, a coniugare dinamicità con staticità e velocità, è comunque reso possibile, in ultima istanza, da una inaspettata sensibilità di controllo umana, difficilmente simulabile e replicabile: la bicicletta, invenzione recente, sembra fatta apposta per sfruttare le nostre innate capacità di controllo di forze dinamiche non sperimentabili quando usiamo le nostre sole gambe e quindi non sperimentate per migliaia di anni (possono solo esserlo, sebbene in misura minore, nelle curve affrontate in velocità, come sulle odierne piste di atletica).

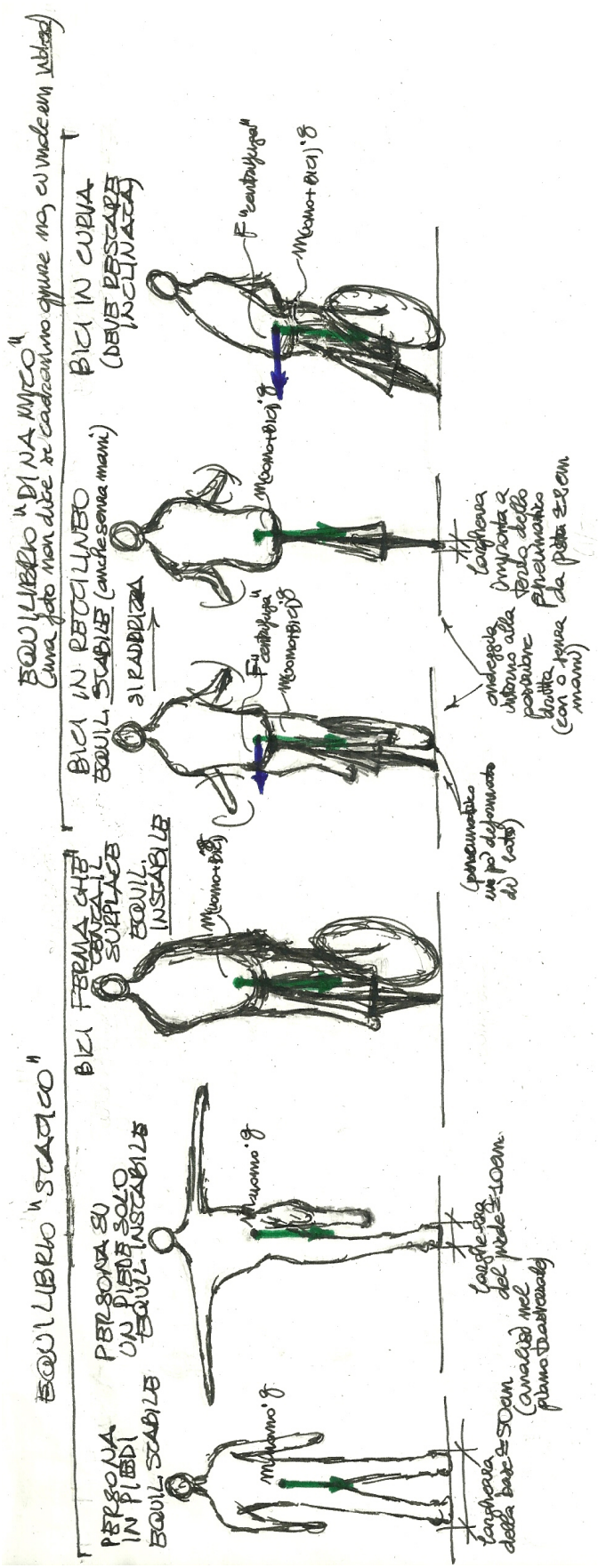


Figura8 Il pneumatico stretto delle bici (da pista in particolare) è un'ulteriore sfida al comune concetto intuitivo di equilibrio (che si limita al caso in cui il sistema è fermo, erroneamente definito come "statico": in realtà, in fisica, l'equilibrio statico contempla in generale masse che si muovono a velocità costante). Quando la bici è ferma, l'equilibrio è instabile: si cade di lato (non siamo gente da circo: il surplace, applicando movimenti piccoli e a scatto allo sterzo, sfruttandone la particolare geometria per raddrizzare la bici, è difficile, anche utilizzando una bici a scatto (pignone) fisso (cioè senza ruota libera)). Invece, quando la bici si muove, grazie all'energia (cinetica) e alla "forza" implicita nel movimento (ossia alla quantità di moto(/momento della quantità di moto)) essa "contrappone ", alla variazione di moto/posizione spaziale, delle elevate "forze/coppie inerziali" (di natura dinamica) ("forza" centrifuga e coppie giroscopiche); ma è solo grazie allo sterzo (in virtù dell'attrito tra ruota e terreno: sul ghiaccio non si resta in equilibrio, prova che le inerziali giroscopiche non bastano) che esse permettono autonomamente (ossia senza bisogno di controllo, ovvero di tenere il manubrio o pedalare) di restare stabilmente in equilibrio "verticale" (ossia intorno a una configurazione con rollio e imbardata nulli e quindi andare dritta): basta rimanere sopra una certa velocità [funzione del rollio involontariamente impresso, dell'effetto giroscopico e dell' all'avancorsa normale anteriore (positiva)]; ma attenti ai sassi presi ad alta velocità: per andare dritti senza mani bisogna solo vincere la paura di cadere.

Ecco come lo sterzo, grazie alla sua geometria, riesce a usare la forza centrifuga in modo tale da trasformare la bici in un "meccanismo autostabile": notando che con la bici che va dritta il manubrio diventa più duro (più stabile, meno ballerino) all'innalzarsi della coppia di ritorno dello sterzo (proporzionale all'avancorsa normale anteriore (positiva)) (e per via dell'inerzia giroscopica della ruota anteriore), entrambe proporzionali alla velocità, si può capire che solo quando si crea il rollio di "disturbo" "barcollando" inevitabilmente di lato con il peso del proprio corpo, si riesce a sterzare la ruota anteriore; una volta sterzata, la ruota anteriore si inclina ulteriormente verso l'interno della curva (ancora proporzionalmente all'avancorsa normale anteriore (positiva)) contrastando l'"effetto giroscopico" conseguente alla sterzatura della ruota anteriore che "spinge" invece ruota e bici verso l'esterno della curva, e sfruttando l'effetto giroscopico (che lo aiuta nella sterzatura) che deriva dall'inclinazione verso centro curva non solo della ruota anteriore ma di tutta la bici nel suo insieme; infatti lo sterzo abbassa, verso il centro curva (e questo è il punto fondamentale) il baricentro totale (bici+ciclista (che è immobile)) ossia crea con l'imbardata un rollio nel giusto verso grazie alla "forza" centrifuga; imbardata e rollio vengono legati tra loro. Si instaura una dinamica non-lineare: un feedback negativo del rollio su se stesso a mezzo dello sterzo (e dell'effetto giroscopico), complice la "forza" centrifuga.

Analizziamo ora, separatamente, le due possibili perturbazioni quando si va dritti: se il mezzo ha del rollio non voluto, la forza di gravità destabilizzante viene recuperata per mezzo dello sterzo con una sufficiente forza centrifuga; se ha invece un angolo di imbardata spurio non troppo elevato (ossia se lo sterzo non è dritto) (da cui nasce una forza centrifuga) esso viene bilanciato "automaticamente" con la gravità nel verso giusto (verso l'interno della curva). Lo sterzo somma la sua azione sul baricentro totale agli "effetti giroscopici" della ruota/e (proporzionali al loro momento della quantità di moto), effetti che esistono perché il secondo principio newtoniano, valido in dinamica, è vettoriale (si veda Fig. 9 per i dettagli). Una ruota singola, infatti, non cade di lato, e se colpisce un ostacolo che la fa imbardare tende a cadere e rollando recupera e torna in piedi; tuttavia, quando essa viene montata sulla geometria della bici, i suoi effetti stabilizzanti non ce la fanno a stabilizzare la bici nel suo complesso e ci vuole il fondamentale contributo dello sterzo. Con lo sterzo libero di ruotare (attenzione quindi alle rotaie!) e la bici libera di inclinarsi, ossia avente i due gradi di libertà, rollio e imbardata (oltre alla coordinata curvilinea di avanzamento) liberi e quindi controllabili, "paradossalmente" (ma prevedibilmente, dal punto di vista fisico), diventa difficile per il ciclista uscire da questo equilibrio verticale (a parità di masse e loro distribuzione, più la velocità è alta e più è difficile farlo), per portarsi in una posizione inclinata e ruotata (ossia con angoli di rollio e imbardata non nulli), ovvero è impegnativo curvare.
Il grado di libertà addizionale del rollio tipico dei bicicli a ruote allineate (si veda Fig. 12) impone che per percorrere una curva si debba restare inclinati per opporsi alla forza centrifuga conseguente: in centro curva, al fine di mantenere allo sterzo l'angolo voluto verso l'interno curva (aggiustando la velocità se necessario) è necessario inclinare il busto verso l'interno della curva (lo sterzo, infatti, ha un'incidenza fissa con la velocità (e quindi troppo bassa per velocità sopra un certo valore) e non è quindi sufficiente, da solo, per curvare), inclinarlo in funzione di velocità e angolo di sterzatura, mantenendo il controllo dello sterzo applicando su di esso una certa forza (coppia) (dipendente, a parità di avancorsa normale anteriore, da velocità, angolo dello sterzo e rollio), da ripartire in piccoli aggiustamenti per correggere/accordarsi con l'inclinazione del busto e la velocità, ossia con l'angolo di imbardata e la velocità voluti: si tratta di un "complesso" gioco di equilibrio (statico). Bisogna quindi agire in modo "controintuitivo" (ma che con la pratica non lo diventa più, anzi), non soltanto per il fatto dell'inclinazione laterale, ma anche per come bisogna impostare la curva, soprattutto se la velocità in ingresso è elevata (si veda più avanti): è controintuitivo l'effetto giroscopico (e la geometria dello sterzo gli va dietro) perché per girare una ruota ad alte velocità bisogna esclusivamente inclinarla. Per innescare la curva, ossia per uscire dalla stabilità verticale/dritta (e quindi non solo ondeggiarle intorno) bisogna fare lo stesso con tutta la bici (occorre far "piegare" la bici) ("ad alte velocità, se non si tirano i freni, si va dritti", ossia si torna alla posizione di equilibrio verticale), ossia inclinarla verso l'interno curva tenendo lo sterzo dritto, in modo da far cominciare a girare lo sterzo che asseconda l'effetto giroscopico, e poi contrastare la forza centrifuga con il gioco di equilibrio visto prima. Schematizziamo l'innesco della curva in due casi distinti: bassa ed alta velocità. A basse velocità, l'"effetto giroscopico" della ruota anteriore è basso e non tende quasi a inclinare la ruota anteriore verso l'esterno curva, quindi lo sterzo può essere girato verso l'interno della curva e, grazie alla sua geometria, contribuire a inclinare la bici verso l'interno curva (lo sterzo "butta giù", ma solo fino a una certa velocità: come visto, lo sterzo ha un'incidenza fissa, non variabile con la velocità), quindi si può aiutare l'innesco dell'inclinazione girando da subito il manubrio verso l'interno curva. Ad alta velocità, invece, con lo sterzo sempre più duro con il suo aumento (e proporzionalmente all'incidenza dello sterzo) per inclinarsi verso l'interno curva ci si può eventualmente aiutare facendo forza sul manubrio cercando di girarlo (e girandolo davvero un pochino, ma è duro per le giroscopiche e la coppia di ritorno dello sterzo) verso l'esterno della curva, poiché l'effetto giroscopico (proporzionale al momento della quantità di moto della ruota (anteriore)) diventa "preponderante" rispetto alla coppia di ritorno dello sterzo (la velocità di rotazione della ruota anteriore fa sentire il suo effetto sullo sterzo) (se l'incidenza dello sterzo (l'avancorsa normale) è alta, questa forza esercitata sul manubrio verso l'esterno curva diventa meno efficace e risulta più difficile poi girare il manubrio/inclinarsi verso l'interno curva).
Da aggiungere a tutto ciò, se si girano i pedali (ossia non si va a ruota libera), un piccolo effetto giroscopico della guarnitura (che aumenta con i rapporti più corti), che si "comporta" similmente a quello della ruota posteriore.
Ancora sullo sterzo (soprattutto se la sua incidenza è alta): nelle curve molto strette prese a bassa velocità si deve curvare il corpo verso l'esterno (!) della curva per bilanciare l'inclinazione della bici verso l'interno curva. Infine, un piccolo test: la sua durezza da fermi (proporzionale all'incidenza positiva, oltre che all'attrito pneumatico-terreno (e a quello interno allo sterzo), alla larghezza dello pneumatico e al peso scaricato sull'anteriore) non ha nessuna importanza, ma dà qualche informazione sul suo comportamento in dinamica.
Pare superfluo aggiungere che con lo sterzo bloccato la bici è inguidabile e si cade.

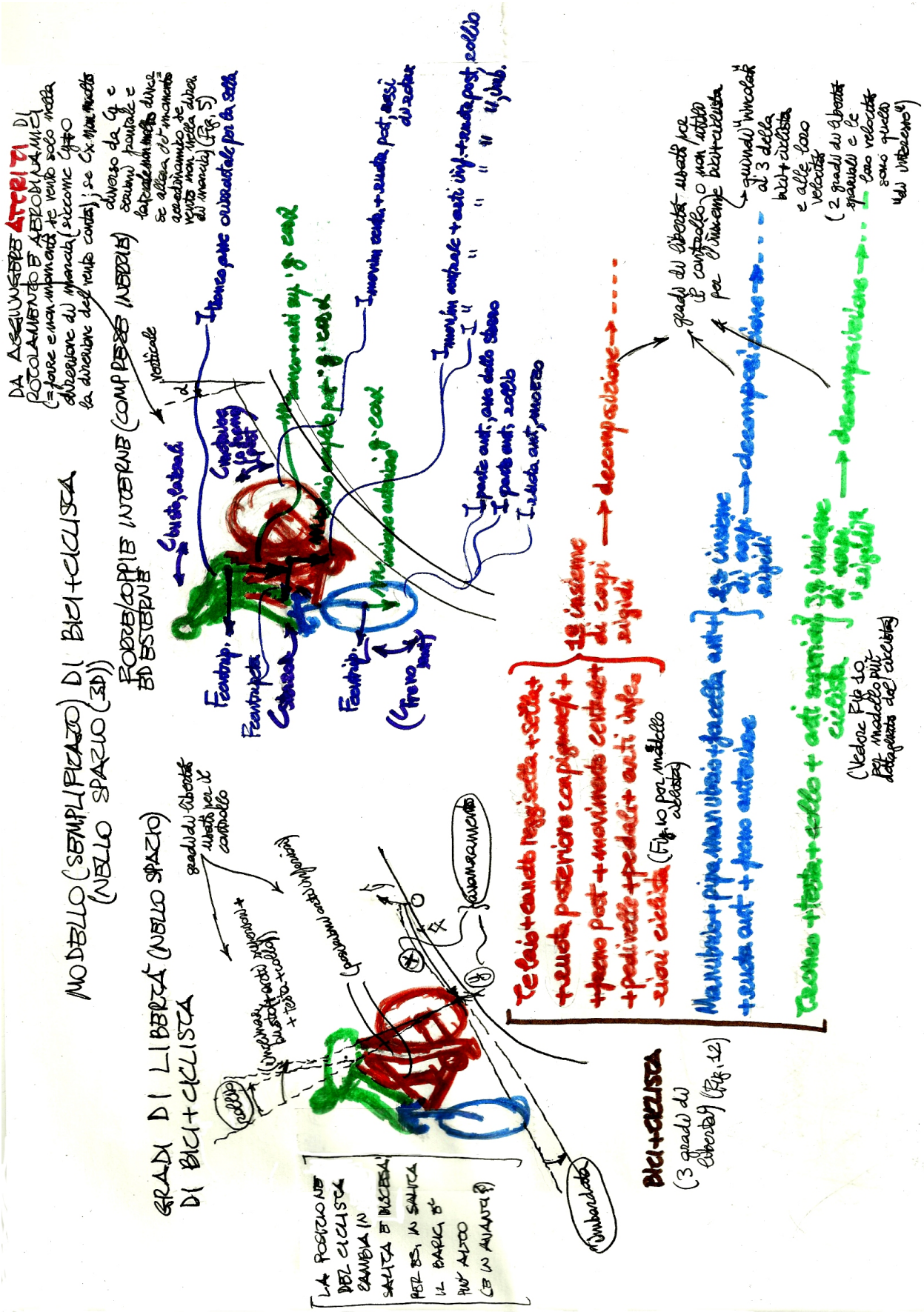

MODELLO (SEMPLIFICATO) DI BICI+CICLISTA
(NELLO SPAZIO (3D))
FORZE/COPPIE INTERNE (COMPLESSE INTERNE)
DI ESTERNE
GRADI DI LIBERTÀ (NELLO SPAZIO)
DI BICI+CICLISTA
BICI+CICLISTA
(3 gradi di libertà) (Fig. 12)
(Vedere Fig. 10 per modello più dettagliato del ciclista)

Figura9 Anche per analizzare il moto in rettilineo di una bicicletta è indispensabile un’analisi “in 3D”, per via dei movimenti di imbardata e soprattutto di rollio che riteniamo “innaturali” quando pensiamo al movimento umano, seppur essi siano presenti, anche se in minor misura, pure quando corriamo (soprattutto in curva). Il metodo matematico sviluppato da Lagrange (pubblicato nel 1788) permette la concreta applicazione delle leggi della dinamica a sistemi complessi attraverso una loro discretizzazione in un insieme (finito) di elementi idealmente perfettamente rigidi, interagenti tra di loro e con l’ambiente esterno, e soggetti a vincoli (anch’essi perfettamente rigidi): in quanto metodo, esso ha una sua sistematicità, e per via del suo carattere forzatamanete discreto esso diventa facilmente algoritmo, e quindi pronto per il trattamento con i (moderni) calcolatori. Egli partì da un principio di tipo “energetico” applicato nello spazio (traiettorie "virtuali") e nel tempo (in totale l'"azione") [si passerà poi al tensore en-quantità di moto nello spaziotempo], secondo il quale il sistema complessivo di cui sopra, lanciato ad una certa velocità, “sceglie” quella traiettoria, attraverso la giungla delle “forze disturbatrici” (vincoli e forze di controllo comprese) [la relatività avrebbe poi parlato di curvatura spaziotemporale], la quale, al punto di arrivo, risulterà avergli fatto scambiare con l’ambiente esterno la minor quantità di energia, ossia aver perturbato il meno possibile la sua energia (cinetica) iniziale che è legata solo al modulo della velocità, ossia non è influenzata dalla direzione della velocità: la meno “faticosa” se sul totale del percorso risulta aver perso energia, la più “sfuggente” (ossia la più efficiente) se risulta averla guadagnata, in modo appunto da minimizzare la variazione della propria energia cinetica nel tempo di permanenza nella “giungla”. Questo avviene se la velocità (tangenziale) (e quindi l'energia) del sistema è indifferente agli scossoni (forze) laterali che le fanno cambiare direzione [la deviano dalla geodetica] e quindi ne allungano la traiettoria (e il tempo di percorrenza): il principio (in forma integrale o in forma differenziale [lavori virtuali]) è allora in accordo (equivalente) alle leggi (differenziali) newtoniane di cento anni prima che quindi “celavano”(!), all’interno della loro natura vettoriale, questo principio energetico; viceversa, e più in generale, da questo principio energetico che regola, insieme a quello di conservazione dell’energia, gli scambi energetici e determina quindi l’evolversi dell’Universo si possono ricavare le equazioni relativistiche del moto. In particolare, Lagrange si limitò ad analizzare il caso con forze esterne costanti, quindi tipicamente il caso senza il controllo (cosciente) umano, ossia il moto “naturale”. Utilizzando il calcolo variazionale in forma differenziale si arriva ad un sistema di equazioni al quale si è potuto però dare una concreta valenza applicativa solo circa duecento anni dopo, quando si ebbe la possibilità di risolverlo in tempi ragionevoli con l'ausilio di veloci calcolatori, applicando metodi numerici come quelli di Runge-Kutta, rimasti anch’essi “inespressi” dai primi del Novecento fino all'avvento dei PC e all’avvio della corsa verso la discretizzazione sempre più fine dei modelli.
Grazie all’elevata rigidezza (rispetto alle forze di sollecitazione) raggiunta dai telai in primis (con ripercussioni sulla sicurezza, si veda l’ultimo capitolo), la bicicletta (senza ciclista) con buona approssimazione (senza la pretesa di intenti progettuali) può essere scomposta in un “sistema a corpi rigidi articolato” con pochi elementi che portano ad un numero basso di coordinate spaziali libere, e quindi di equazioni differenziali (si esclude qui il caso di perdita di aderenza con il terreno (avvenimento raro se si applicheranno i sistemi di sicurezza attiva, Fig. 14), nel qual caso le coordinate aumentano ed il numero di equazioni ancor di più per via dei vincoli “anolonimi”). Il modello diventa invece complesso e poco affidabile quando si aggiunge il ciclista (la cui massa non è affatto trascurabile rispetto a quella della bici, e il cui corpo non è un insieme di corpi “rigidi” (si veda Fig. 10)), il quale si pure si muove (deliberatamente) in funzione delle forze percepite, per controllare la bici. La complicazione è data, quindi, in ultima istanza, dalle forze (interne) di controllo, difficili da modellizzare (anch’esse soggacenti al principio variazionale): dalla componente umana. Le inaspettate capacità di controllo umane permettono di gestire il mezzo grazie al fatto che l'equilibrio “dinamico” è stabile in virtù della geometria dello sterzo, coadiuvato dalla presenza della ruota (rotante) all'anteriore (Fig. 8).

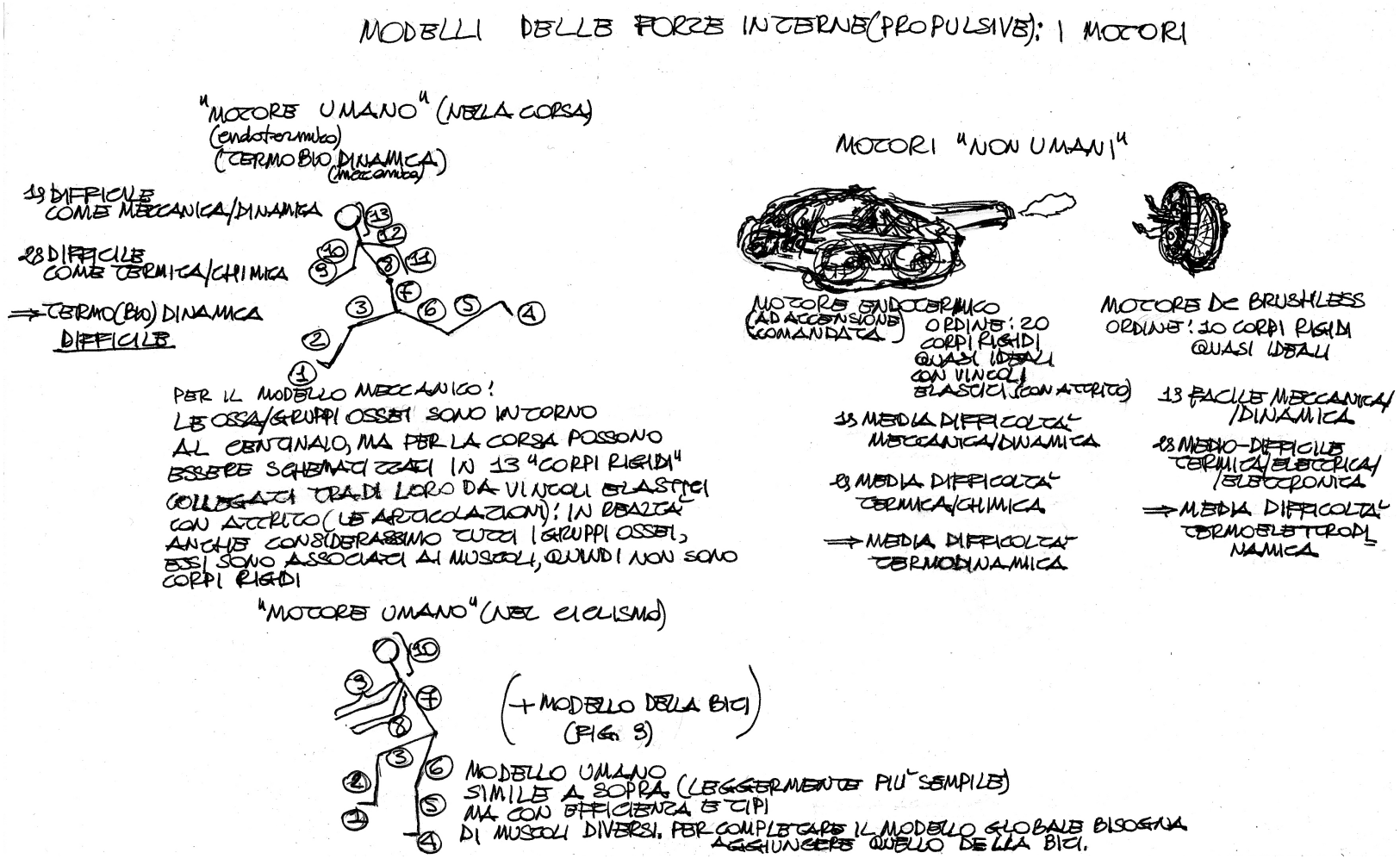
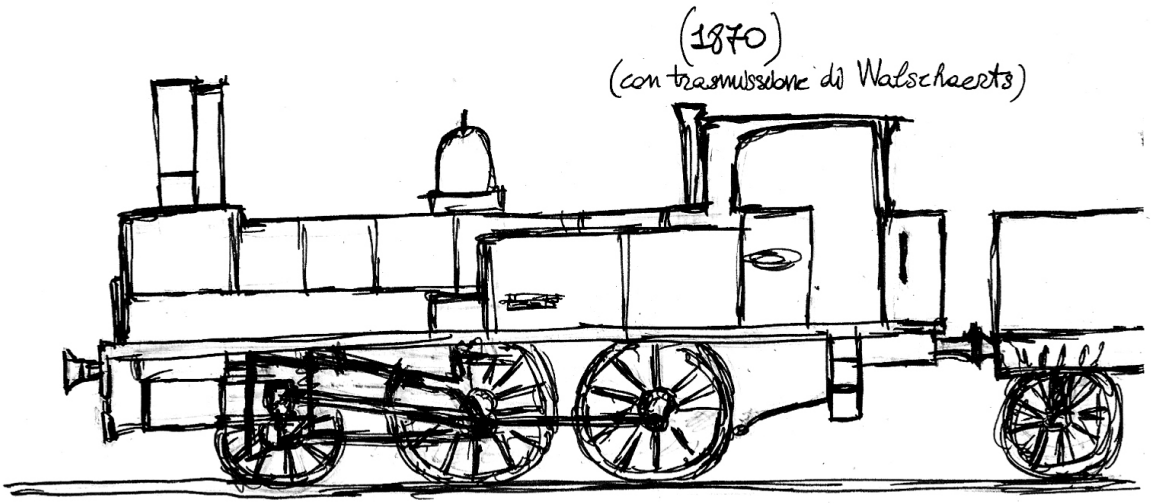


Figura10 In In generale, i modelli si complicano molto se si prendono in conto anche i "motori" (umano e non umani) con le loro parti interne, con l'energia che essi utilizzano e con quella che sprigionano. Per esempio, il modello di una bicicletta che voglia comprendere il gesto atletico della macchina-uomo deve aggiungere al modello meccanico della bicicletta + ciclista (già complicato a causa soprattutto del ciclista) la termobiomeccanica del pedalare. Limitandosi soltanto alla parte meccanica (biomeccanica) di un uomo che corre o va in bici, essa risulta difficile da modellizzare in modo accurato: il numero di corpi rigidi (masse discrete) deve essere molto elevato perché gambe, braccia, etc. per via dei muscoli, ma non solo, non sono singoli corpi rigidi (ci vorrebbe un'analisi al calcolatore con un modello a (molti) elementi finiti (di tipo "FEM"), ossia la scomposizione di ogni corpo non-rigido in tanti elementi "rigidi" collegati tra di loro da connessioni elastiche (e dissipative), cui applicare il metodo di Lagrange).



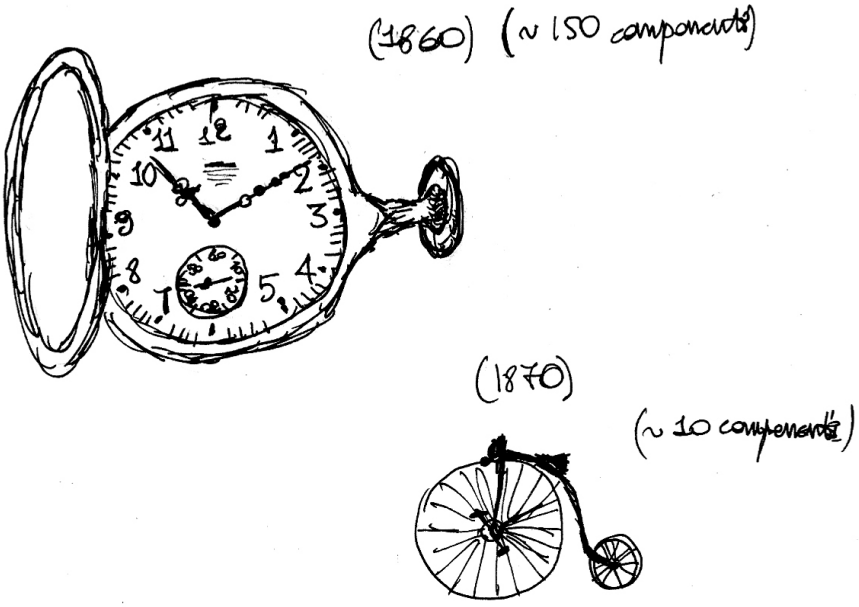


Figura11 La "controintuitività" concettuale (ma non reale: la diffusione della bicicletta ne è una prova) della concezione "dinamica" di equilibrio ha fatto sì che una macchina così semplice come la bicicletta (nel senso di biciclo in cui si staccano costantemente i piedi da terra (1855, 1870 per il modello qui raffigurato, vedi Fig. 7)) fosse inventata dopo il motore a scoppio (più propriamente il motore a combustione interna ad accensione comandata) (1853) e dopo la locomotiva (a vapore) (1829) e l'orologio (quello a singola lancetta è databile addirittura al Medioevo, ma quelli miniaturizzati da tasca appaiono a partire dal 1850), i quali tutti hanno una complessità molto maggiore della bici.

La sfida dell'efficienza

Noi, soli, costantemente controvento, a lottare contro il vento da noi stessi generato; generatori di vento nostro malgrado (se ne accorgono le persone ai lati della strada, quando passiamo), di un vento impercettibilmente surriscaldato dal nostro faticare: dal calore del nostro corpo e da quello degli attriti. L'aria scalda, per attrito, la nostra pelle, ma prevale (se essa è a meno di 37°C) la sua capacità di disperdere il nostro calore (d'estate, se siamo in bici, sudiamo meno di quando corriamo, in inverno congeliamo se fa freddo, non parliamo se andiamo in discesa) e quindi dà un vantaggio "termodinamico" aumentando l'efficienza dei nostri muscoli.

Per determinare la massima velocità raggiungibile in bici si può guardare a quella raggiunta dagli sciatori nelle discese libere: più di 250 km/h quando vanno giù a uovo; oppure a quella delle moto naked: qui il limite di resistenza umana sale fino a quasi 300 km/h perché ci si può tenere al manubrio. Ma allora anche in bici si potrebbe raggiungere questa folle velocità, alla fine di discese lunghe e molto ripide (e rettilinee!). In pianura, invece, dove l'uomo non può esprimere, ad alte velocità e per lunghi periodi, una forza propulsiva pari a quella, instancabile e costante, della gravità, si può arrivare, pedalando, ad una velocità di punta di 70 km/h o poco più, tenibile solo per brevi periodi (è il limite umano di sopportazione della fatica). Si può quindi scendere velocissimi in discesa, ma senza l'aiuto della gravità possiamo solo combattere, e per poco tempo, contro un vento a 70 km/h. I limiti di velocità qui stimati, sia in discesa che in pianura, sono validi per la bicicletta con sella e senza carenatura (sdraiati e con la carenatura si può andare ancora più veloci).

Ma l'indizio che anche in pianura potremmo, potenzialmente, raggiungere i 300 km/h anche in bici, ci viene osservando il nostro lento procedere, a piedi, raggomitolati e attaccati con le braccia alle catene, contro un vento a molto più di 70 km/h, come succede a Trieste quando c'è la bora: quando si tratta di *resistere* dimostriamo una grande forza muscolare. Se dunque riuscissimo, con rapporti sempre più lunghi (e attriti volventi bassissimi), a "pedalare" con un'accelerazione prossima allo zero, ci ritroveremmo, dopo un tempo molto lungo, a resistere... ai 300 km/h!

[Se ci inoltriamo nella dimensione del fluire, non c'è più fatica, né tempo, né spazio, e nemmeno la forza, e non sappiamo a che velocità fluiamo, se a zero km/h o a mille km/h… è la gioia del fluire]

La ricerca della massima efficienza è una magnifica sfida di natura intellettuale. Quando viene declinata al caso in cui il motore sono i nostri stessi muscoli, vuol dire arrivare a sfruttare la nostra fantomatica energia potenziale (e quindi anche a esprimere la nostra "massima" potenza), e significa drammatica lotta contro la fatica, la stanchezza, la perdita delle forze, la vecchiaia. La fatica ci fa prendere coscienza (a nostre spese) che l'energia è preziosa perché ne abbiamo in quantità limitata: la sfinitezza è il segno più drammaticamente evidente della sua finitezza. Arrivati i motori, capaci di sfruttare la "comoda" ed enorme energia a noi esterna, sono cominciati i deliri di potenza (e di infinitezza). Liberati dalla fatica, si pensava di essersi liberati tout court del limite, di aver guadagnato una liberazione totale, assoluta. Un senso del limite (e la ricerca dell'efficienza che ne consegue) avrebbe dovuto conservarsi dopo l'ovvia constatazione della limitatezza dell'"esterno", ossia la sua identificazione nell'"ambiente" (la biosfera terrestre), e la conseguente sollecitazione di una auspicabile tendenza alla cooperazione. La mancata, o tardiva, ricerca dell'efficienza ha innescato un perverso meccanismo con

feedback positivo (autoalimentantesi): un aumento di entropia/temperatura atmosferica che rende sempre meno efficienti i motori (incluso il nostro motore muscolare).

La ricerca della massima efficienza è la reazione alla consapevolezza del limite, sia che si adotti la visione personalistica legata alla fatica, sia che si abbracci quella ambientalista/altruistica. La limitatezza dell'ambiente si misura in termini di quantità di energia disponibile, la quale dipende dalla sua "qualità", ossia dal suo stato di ordine. Dal punto di vista matematico, ha la forma di un problema (variazionale) di massimo vincolato (con le condizioni al contorno che esprimono il limite). Il valore cui ci si può solo avvicinare è, quasi in modo simbolico, finito (uguale a 1). L'entropia dell'ambiente (che, nella riduzione meccanica (termodinamica) è legata alla sua temperatura) non può essere diminuita: il suo inesorabile e costante aumento può solo essere rallentato, migliorando l'efficienza, ma anche diminuendo il "consumo" di energia. Quello che conta è la quantità assoluta di calore prodotta (l'efficienza è solo un rapporto) e la sua "velocità" di produzione. L'unica possibilità che ci rimane per diminuirle, dato che non non si può raggiungere un'efficienza uguale a 1, è quella di diminuire l'energia utilizzata e di consumarla lentamente: in questo caso il calore e la sua velocità di produzione possono avvicinarsi a zero quanto si vuole ma si sprofonda in una sostanziale impossibilità nel farlo perché ciò equivarrebbe a cessare di utilizzare l'energia, quindi, al limite, scomparire, non esistere più (materialmente/energicamente, e quindi(?) come esseri autocoscienti).

Focalizzando l'attenzione sulla questione più ristretta del nostro spostamento, per minimizzare l'aumento di entropia non abbiamo scelta: la traiettoria è quella che richiede energia di controllo nulla (abbandonarsi, senza mani e a ruota libera), è quella "libera", determinata dall'ambiente, ossia dal campo di forze *dato* (e quindi è *dato* anche il punto di arrivo) (più in generale, è "determinata" dalla curvatura spaziotemporale e conoscibile a meno di un valore di fondo; non è la geodetica perché abbiamo bisogno del terreno che si oppone alla "forza di gravità"). In base al principio energetico descritto nella didascalia di Fig. 9, questa traiettoria riservataci dal "destino" risulta anche

essere quella che dissipa meno energia per attrito viscoso. Se vogliamo invece seguire una traiettoria a nostro piacimento (quindi anche con una meta scelta da noi), essa deve in ogni caso discostarsi il meno possibile da quella determinata dall'ambiente (dalla curvatura spazio-temporale), nell'obiettivo di variare il meno possibile, durante il percorso, la nostra energia cinetica (tale traiettoria è quindi quella che richiede [globalmente] il minimo "sforzo" (lavoro o energia) ossia si deve forzatamente procedere il più fluidamente possibile (con lo stile di guida più fluido e a velocità il più costante (e bassa) possibile) (in generale il percorso è il più breve considerando anche il dislivello cumulativo). L'ipotesi di andare in bici per diletto, senza uno "scopo" [il fluire] (ma quale lo è, a buon diritto, alla luce di questa analisi?) non è quindi neanche da prendere in considerazione. Questa conclusione evidenzia le drammatiche conseguenze insite in ogni nostro gesto/scelta/azione (frutto del nostro "libero arbitrio" e quindi cosciente), in ultima istanza nel nostro stesso vivere: il loro carattere è intrinsecamente disequilibratore e quindi generatore di disordine (portando ad un aumento dello stato di disordine dell'Universo, ossia dell'entropia globale). Questa nostra traccia perturbatrice indelebile (e apportatrice di oblio) è tanto più segnante quanto più le nostre azioni sono piene di vitalità (rapide, con potenza elevata). D'altra parte sembra che il solo modo che abbiamo di esistere (avere coscienza di noi stessi) sia il prendere parte all'evoluzione temporale [mutamento spazio-temporale] dell'Universo (dell'altro da noi), e la modalità (inevitabile) per farlo lascia questa scia di morte. In questo processo si innesta la lotta biologica per la vita. Sembra doversi concludere che per vivere/agire (in un mondo limitato) lo si debba fare a scapito degli altri. Questo "meccanismo" perverso è la maledetta sorte che ci spetta, e mostra l'inconciliabilità tra il senso di sé e il senso dell'altro da sé. In quest'ottica, la stessa libera scelta di spostarsi, il movimento, diventa affermazione di sé, del proprio libero arbitrio, della propria volontà di potenza, a danno degli altri (il trasporto pubblico è più efficiente di quello privato in quanto limita tutto questo, la nostra libertà personale).

Nell'ipotesi di una tendenza dell'Universo verso il disfacimento, verso la sua fine (il caos, l'oblio), tutto questo ha una valenza concet-

tuale; tuttavia, se lo si cala nella più ristretta dimensione del tempo presente che stiamo vivendo, il disordine che riversiamo sugli altri, e alla fine anche su noi stessi, diventa un "reale" problema se aumenta, sopra un "certo livello", l'entropia (dell'energia) del "nostro" ambiente (l'ambiente diventerebbe "locale" quando ha minimi scambi entropici (di calore, disordine) o, da un altro punto di vista, minimi scambi di CO_2 - con l'"esterno", ovvero il resto dell'Universo).

La ricerca del miglioramento dell'efficienza (il buon intento ecologista) può condurre all'allietante illusione (quando non diventa un pretesto) di poter fare ciò che si vuole (dà diritto di esistenza al "piacere", al diletto); essa appaga il nostro senso di altruismo fornendo spesso l'attenuante che il danno provocato sia minore, ma così facendo spesso porta a causarne, per accumulazione, di più gravi. Il problema di fondo è che non possiamo fare a cuor leggero tutto quello che vogliamo (estremizzando, neanche vivere). In questo senso, la bici, con la sua capacità di farci andare veloci con poco sforzo (grazie alla sua buona efficienza), da una parte infonde in noi gioia e sembrerebbe rendere questo dramma (per chi ne è conscio) meno gravoso (di più se non la usiamo per diletto, ma per uno "scopo"), ma dall'altra acuisce il paradosso: bisognerebbe usarla il meno possibile, anzi stare fermi (meglio pochi e lenti passi a piedi che chilometri in bicicletta ad andatura sostenuta).

La fisica ci permette di calcolare quanto ogni nostra azione cosciente, in questo caso il nostro muoverci in bici, aumenti l'entropia globale, attraverso il calcolo della generazione di calore ad esso associata (nel tempo si dovrebbe, anche se il concetto e il calcolo della variazione di entropia si limita a condizioni di equilibrio), oppure, se si guarda più in particolare al nostro impatto sulla biosfera terrestre in cui viviamo, si può calcolare, per esempio, l'emissione di CO_2 e l'energia consumata. Il calcolo dell'impatto della scelta di utilizzare la bicicletta si presenta tuttavia come un calcolo complesso: dapprima bisogna calcolare l'efficienza d'uso:

$\eta_{\text{andare in bici}}$(velocità, accelerazione) = $\eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$(freq. di pedalata, temp. esterna, ecc.) x $\eta_{\text{bicicletta}}$(velocità, accelerazione); poi, per mezzo di essa, si può calcolare la quantità totale di calore generato nell'uso cumulativo nel tempo della bicicletta (non è il consumo d'energia, che però può essere da essa ricavato). Tuttavia, per un corretto bilancio di impatto ambientale, occorre che questo sia globale, ovvero consideri non solo le conseguenze dell'utilizzo, ma anche quelle della costruzione della bicicletta, quindi bisogna massimizzare anche l'efficienza di costruzione della bici ($\eta_{\text{costruzione della bici}}$): la bici non nasce spontaneamente in Natura ma deve essere costruita deliberatamente dall'uomo, da cui discende un ulteriore incremento del disordine esistente (con la semplicità caratteristica di questo mezzo che va a favore). Occorre allora impostare preventivamente un bilancio (prima dell'eventuale acquisto della bici) riguardo il suo presunto tempo di utilizzo globale, e stimare se la generazione di calore risparmiata con l'uso della bici rispetto all'andare a piedi compenserà anche la produzione di calore iniziale per costruirla. Se si prevede che si userà poco la bici (come anche la questione di quanto sovente si potrà condividere con una o più persone un percorso comune, per decidere se comprare un tandem o un risciò a pedali invece che una "classica" bici monoposto (i tandem da pista vanno più forte delle bici da pista, e nelle competizioni ciclistiche il gruppo raggiunge quasi sempre il fuggitivo)), o se si avrà la possibilità di condividere nel tempo una stessa bici con altre persone, allora il vantaggio di acquistarne una sarà solo personale (si farà meno fatica rispetto all'andare a piedi), non a favore dell'ambiente e degli altri: l'ambiente riceverà questo calore addizionale che non andrà più recuperato. Oltre a quello sul calore, occorre fare un bilancio globale dal punto di vista dell'"efficienza di utilizzo dell'energia": bisogna prevedere se l'energia dirottata inizialmente nel costruire la bicicletta verrà alla fine compensata da quella risparmiata con l'utilizzo della bici al posto dell'andare a piedi, questo per rispondere al quesito: l'energia (lavoro) per costruire la bici si sarebbe potuta utilizzare meglio per altre attività più utili?

Ragionamenti energetici e di efficienza si devono applicare anche alla presunta fase di "dismissione" del mezzo, la quale però non dovrebbe avvenire mai (vita eterna per la bici!): quando lo si "rifiuta", il veicolo in realtà è recuperabile perché la sua energia/informazione, per quanto possa essere malandato, non è mai annullata fino allo stato delle materie prime, quindi il recupero/riparazione, anche se può non convenire economicamente (l'economia guarda anche il tempo, ha fretta, come la vita, d'altronde), tuttavia dal punto di vista ecologico conviene sempre (in termini di risparmio di energia e di minor produzione di calore) rispetto al suo riciclo dopo "rottamazione" o alla costruzione di un veicolo ex novo a partire dalle materie prime.

Tenendo sempre a mente gli "obblighi morali di scelta" visti sopra riguardo percorso e stile di guida, troppo severi ("inumani") per essere appieno rispettati, e i vincoli sulla costruzione e la "vecchiaia" della bici, vediamo come si possa migliorare l'efficienza dello spostamento in bici, $\eta_{\text{andare in bici}}$, che, come visto, vale:

$\eta_{\text{andare in bici}}$(velocità, accelerazione) = $\eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$ (freq. di pedalata, temp. esterna, ...) x $\eta_{\text{bicicletta+ciclista}}$(velocità, accelerazione).

Si può agire su ognuno dei due termini in cui è stato qui scelto di scomporla:

I. Massimizzare l'efficienza muscolare ($\eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$) (qui si prende in considerazione l'efficienza complessiva, considerando anche l'efficienza (costi energetici) di "produzione" del cibo (partendo dall'energia elettromagnetica del sole e aggiungendo quella, spesso troppa, delle altre fonti di energia utilizzate)). Data l'impossibilità di diminuire l'entropia (temperatura)

dell'ambiente esterno, si può giocare invece pure sulle nostre scelte alimentari (se ne abbiamo la possibilità).

II. Massimizzare l'efficienza complessiva del mezzo meccanico più ciclista ($\eta_{\text{bicicletta+ciclista}}$) che qui tiene conto, oltre che naturalmente delle inerzie e degli attriti, anche del fatto che solo una parte del lavoro muscolare risulta utile (quella trasmessa al terreno nella direzione dell'avanzamento) (seppure, come visto in Fig. 4, si tratti della maggior parte dell'energia muscolare spesa).
Prima di procedere oltre, possiamo "formalizzare" quanto notato nella parte: "*L'uomo non è perfetto*" ed in seguito descritto in Fig. 6: in un percorso tortuoso in salita nel quale si imprimano forti accelerazioni e frenate è più efficiente andare a piedi che non in bici, infatti: $\eta_{\text{andare a piedi}}$(velocità, accelerazione) = $\eta_{\text{muscolare a piedi, totale}}$(freq. di camminata, temp. esterna, ecc.) x $\eta_{\text{a piedi}}$(velocità, accelerazione) è maggiore, sulla totalità del percorso, di $\eta_{\text{andare in bici}}$, in virtù, in particolare, del fatto che: $\eta_{\text{a piedi}}$(velocità, accelerazione) > $\eta_{\text{bicicletta+ciclista}}$(velocità, accelerazione).

Analizziamo ora più nel dettaglio i due termini di sopra, $\eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$ e $\eta_{\text{bicicletta+ciclista}}$, per vedere come li si possa aumentare il più possibile:

I.I Efficienza muscolare totale ($\eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$)

$\eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$(frequenza di pedalata, temp. esterna, ...) = $\eta_{\text{muscolare pedalata}}$ (frequenza di pedalata, temp. esterna) x $\eta_{\text{produzione del cibo}}$(...) x η_{vegetali}(...) x η_{animali}(...)

$\eta_{\text{muscolare pedalata}}$(frequenza di pedalata, temp. esterna): tiene conto dell'efficienza di trasformazione dell'energia disponibile in lavoro da parte dei muscoli mentre si pedala. Quando andiamo in bici dissipiamo in calore parte della nostra energia muscolare e, se fa caldo, sudiamo e ci viene anche la "febbre"; tutto questo per il secondo principio della termodinamica.

$\eta_{\text{produzione del cibo}}$(...): tiene conto del consumo di energia per la produzione e il trasporto degli alimenti (eventuali allevamenti animali compresi, ossia il "materiale" su cui lavora la "zootecnia", la tecnica (orrore) applicata agli animali), e anche di quella spesa dal consumatore/"cliente" per procurarsi il cibo/"prodotto".

η_{vegetali}(...) e η_{animali}(...): tengono conto dell'efficienza di trasformazione dell'energia elettromagnetica del sole in materiale organico da parte di vegetali o animali, e poi dell'efficienza del no stro corpo nel ricavare da esso energia disponibile per i muscoli. Dal momento che si ha sempre: $\eta_{\text{animali}} < \eta_{\text{vegetali}}$, una dieta vegana viene rappresentata fissando $\eta_{\text{animali}} = 1$; tale scelta, associata all'uso di prodotti bio e a km zero, massimizza $\eta_{\text{produzione del cibo}}$ x η_{vegetali} x η_{animali}.

II.I Efficienza del sistema bicicletta più ciclista ($\eta_{\text{bicicletta+ciclista}}$)

Per migliorare questo fattore, si deve agire su tutti i punti sotto elencati, rispettando, nel contempo, il vincolo sulle inerzie qui descritto, essendo consapevoli che, per un limite fisico, si può solo raggiungere un compromesso (con la annessa sfida tecnica) che è funzione del tipo di percorso che si intende fare con la bici.

Vincolo sulle inerzie (la sua influenza specifica dipende dalla quantità di accelerazioni/frenate e salite/discese):

- Si rispetta minimizzando la massa totale della bici (e del ciclista!) e i momenti di inerzia delle loro parti rotanti, minimizzando quindi le masse e migliorando la loro distribuzione spaziale (si veda Fig. 6), il tutto agendo sui materiali e sulla progettazione del telaio e dei componenti, ma anche sugli indumenti/accessori (e sulla dieta) del ciclista.

II.I.1 **Minimizzazione degli attriti**

In particolare di quello, preponderante alle alte velocità, con l'aria (miglioramento dell'aerodinamica) perché gli altri hanno raggiunto un valore vicino al limite teorico (Fig. 5). La forza contraria dell'aria, inclusa negli "attriti", viene normalmente, fin da subito, considerata una forza dissipativa, perché una sua parte si trasforma in calore disperso, non più recuperato (in realtà la forza intera ha come destino finale quello di tutta l'energia, ossia il diventare disordinata fino a livello macroscopico/cosciente). In realtà l'energia del vento "caldo" che generiamo può essere parzialmente recuperata in uno o entrambi i seguenti modi: sfruttando il più possibile la sua natura (idealmente deterministica) di forza meccanica, capace quindi di compiere lavoro meccanico utile, oppure ricavandone energia di alta qualità installando, per

esempio, generatori eolici ai lati della strada; oppure, più brutalmente, deteriorandola in calore, utile però per scaldare, cui si aggiunge anche il debolissimo calore da noi stessi generato. Le bici reclinate diminuiscono, rispetto a quelle con sella, l'"attrito" aerodinamico perché hanno una forma migliore e una sezione trasversale minore (Figg. 7 e 13), a discapito, in genere, di un incremento di massa (non rotante), quindi risultano sicuramente vantaggiose (per chi le conduce, non per gli altri che ne volessero sfruttare il vento) nel mantenere alte velocità costanti in pianura, e per raggiungere elevate velocità in discesa (viceversa palesano maggiori difficoltà nelle frenate e nelle accelerazioni, le quali, record di velocità a parte, prima o poi arrivano) (Fig. 6). Si può anche intervenire sui materiali della bici e le tute dei ciclisti per migliorarne le superfici (tenendo però in mente che, per esigenze di traspirazione della pelle, l'uso di una particolare tuta dipende anche dalla temperatura esterna), facendo in modo che il loro attrito con l'aria sia il più basso possibile, riuscendo con questa scelta, in genere, a rispettare anche il vincolo sulle inerzie della bici-più-ciclista. La carenatura (fissa o rotante (ruote lenticolari)) diminuisce la forza aerodinamica dell'aria nella direzione di marcia agendo sul fattore di forma (riduce il C_x), ma la massa della bici aumenta (quella totale e/o quella delle sue parti rotanti) e anche in genere il suo coefficiente di penetrazione laterale (C_y) e la sua area laterale, fattori, questi ultimi, che aumentano la sensibilità al vento "laterale" (quello non lungo la direzione di marcia) che, nei mezzi a due ruote, può provocare dei momenti/forze (oltre ai momenti aerodinamici presenti anche in assenza di vento) che possono portare a pericolosi problemi di controllo/stabilità (Figg. 5 e 9)): si veda la proposta in Fig. 14 per contenere il C_y (a scapito di un lieve incremento di C_x e area trasversale) mettendo delle punte laterali in modo che la carenatura, che ha un'area laterale più elevata di quella trasversale, abbia almeno un buon C_y. Visto il suo impatto sul vincolo delle masse, la carenatura risulta sicuramente vantaggiosa in un percorso con poche accelerazioni e frenate (e per i record di velocità), altrimenti lo svantaggio dovuto all'incremento di massa

(totale e/o in rotazione) va valutato quantitativamente caso per caso (si veda, per un discorso qualitativo, Fig. 6). Va inoltre valutata la probabilità che sia presente sul percorso vento "laterale" sopra una certa intensità.

A causa dei regolamenti sportivi che vietano la carenatura e la bici reclinata ("rowing bike" compresa, facendo essa parte di questa famiglia), la bicicletta con sella non carenata è quella che ha raggiunto oggi il massimo sviluppo tecnico/tecnologico (visibile nelle biciclette da pista/corsa usate nelle competizioni "ufficiali"). Ma, come visto, vi sono altri tipi di bicicletta che possono essere, per certi utilizzi, più efficienti della "classica" bici da pista/corsa.

Migliorare $\eta_{\text{bicicletta+ciclista}}$(velocità, accelerazione) vuol dire farlo prendendo in considerazione un percorso "reale" (spaziotemporalmente limitato) in cui sono necessariamente presenti non soltanto accelerazioni positive, ma anche accelerazioni negative, ossia frenate. La fase di frenatura della bici è oggi comunemente di tipo dissipativo: tranne che nelle bici con pignone fisso in cui si frena, poco efficacemente e con gran fatica (e solo sulla ruota posteriore) contropedalando, essa si basa sull'incremento dell'attrito, ossia su quello che si viene a creare durante la frenata tra i materiali che costituiscono l'impianto frenante (Fig. 5). I freni aerodinamici sono oggi usati solo negli aerei e nei dragster perché rischiano di innescare instabilità nei mezzi a due ruote, soprattutto in curva, e quindi esigerebbero controlli automatici della stabilità (si veda più avanti); tali freni non usano la ruota per la loro azione, ma aumentano al massimo il C_x e la sezione frontale con dispositivi/superfici a forma di cucchiaio, tipo paracadute, per sfruttare la forza contraria dell'aria, parte della quale poi genera vento "laterale" il quale, non venendo "usato" per qualche scopo, fa attrito con altra aria e alla fine si disperde tutto in calore (si veda più sopra). A favore della frenatura per attrito

sta il fatto che essa può essere realizzata con uno sforzo minimo da parte del ciclista rispetto a quello che deve compiere, per esempio, un corridore a piedi: più la generazione di calore (a livello del freno) è alta (ossia più il valore di "efficienza" è basso (quindi il suo impatto ambientale (sugli altri) dannoso), più la frenata è efficace e più è basso lo sforzo che il ciclista deve fare (verso il basso "non" vi sono limiti all'"inefficienza": il meccanismo dissipativo, dissipando l'energia ordinata in calore, è quello che aumenta al massimo grado l'entropia (il disordine), e non è praticamente influenzato dalla temperatura esterna (l'azione di frenatura del corridore a piedi, invece, lo è perché non è dissipativa). In definitiva, oggi l'attrito, invece di essere minimizzato sempre, è variabile nel tempo e aumenta molto durante le frenate.

I sistemi di frenatura futuri non dovrebbero più basarsi sull'attrito, o, più in generale, non essere di tipo puramente dissipativo, ma al contrario cercare di recuperare (e quindi accumulare, cosa che il corpo umano non è capace di fare) l'energia cinetica senza deteriorarla tutta in calore: se l'accumulo passa attraverso la conversione in energia elettrica allora ci deve essere a bordo della bici una batteria e si rende necessaria l'adozione di un motore elettrico (come avviene nelle attuali biciclette elettriche); se invece l'energia viene immagazzinata sotto forma meccanica (tramite una molla che si carica (accumulo di energia potenziale), oppure tramite aria compressa, oppure ancora per mezzo di un disco leggero che viene fatto ruotare molto velocemente (accumulo di energia cinetica)), allora, per applicare la forza meccanica al sistema di trasmissione o direttamente ad una ruota, si deve usare un dosatore di coppia (acceleratore) e, nel caso del volano, anche una frizione (Fig. 14). In tutti i casi, il conseguente aumento delle masse (da cui l'importanza della densità di stoccaggio per unità di massa), unitamente all'efficienza di recupero, impone il calcolo di un bilancio di efficienza di utilizzo rispetto ad una bici con freni dissipativi (si tenga presente che, qualora positivo, esso diventa sfavorevole, puntualmente, nella frenata ad accumulatore scarico, oppure durante il primissimo ci-

clo di accelerazione/frenata, durante i quali, in piano o in salita/discesa, si sperimenta l'effetto negativo dell'aumento di massa, Fig. 6) e di efficienza complessiva, che va integrata da un'analisi di impatto ambientale, per via soprattutto dell'inquinamento addizionale che l'aumentata complessità dell'impianto frenante "evoluto" comporta (si pensi all'inquinamento legato alle batterie).

II.I.2 **Massimizzazione dell'energia motrice**

Si può agire intervenendo lungo tre direttrici: indirizzando la maggior parte possibile della forza del ciclista lungo la direzione di spinta (attraverso studi di biometria); trasmettendo tale frazione il più "direttamente" possibile, ossia con minime perdite di intensità, nella direzione di spostamento, (servono studi di meccanica); facendo in modo che essa sia la più uniforme possibile, ossia che l'erogazione della potenza del motore umano durante il gesto atletico sia la più fluida ("in fase") possibile (qui interviene la biomeccanica) (Fig. 4). Vediamole più nel dettaglio:

II.I.2.1 Aspetti biometrici/fisiologici:

II.I.2.1.1 Il nostro corpo pesa: occorre quindi "scaricare" il più possibile le gambe dalla gravità (ma senza caricare le braccia) trasferendo e distribuendo il peso su tutta la schiena, come, per esempio, nella bici reclinata (Fig. 4) (in sostanza, vuol dire stare comodi in bici, schiena compresa) in modo che tutta l'energia possa venire indirizzata verso le gambe (e le braccia, se le gambe non sono le uniche a spingere in avanti, si veda la "rowing bike", Fig. 7, anche se pure nelle bici con sella e reclinata classica si può imprimere maggiore forza con

le gambe (durante le accelerazioni/salite) "tirando" verso l'alto o verso di sé il manubrio). Per tale motivo nelle bici con sella in cui le braccia e le spalle (e anche la schiena) possono faticare non poco (in particolare nella bici da corsa, dove in genere si è molto curvati in avanti, Fig.4) si può aggiungere un appoggio per scaricare braccia, spalle e schiena (le braccia servono così solo più per fare lo sforzo, minimo, per girare il manubrio) che però deve fare i conti con il fatto che busto e torace devono essere lasciati liberi, l'uno per inclinarsi lateralmente nelle curve e l'altro per poter respirare, quindi l'appoggio deve interessare solo le spalle e non il torace, portando ad un vantaggio solo parziale: si possono solo scaricare le braccia poggiandosi sugli avambracci, come succede con il manubrio delle bici con sella da cronometro (il quale, però, per via delle sue ripercussioni sulla qualità del controllo, può essere usato solo nei rettilinei e non nelle curve strette a basse velocità (Fig. 14), nei quali migliora l'aerodinamica, motivo principale per cui fu ideato).

II.I.2.1.2 Occorre determinare se, per spingere in avanti (ed ottenere anche la potenza massima) sia più efficace o efficiente utilizzare solo le gambe o anche le braccia (nella handbike, nella quale (ahimè) si usano solo le braccia, la velocità media si attesta sui 25 km/h, o poco più) → bici con sella/reclinata oppure "rowing bike"? Con la rowing bike (dove si usano anche i muscoli della schiena) si ottiene sì, in modo un po' "scomposto", la massima potenza di picco (da cui la massima accelerazione), ma ad essa non consegue la velocità massima più elevata (né tantomeno quella media su lunghe distanze) per via della minor efficienza di spinta rispetto alla bici con sella o alla bici reclinata a pedali (la spinta è meno fluida che con la pedalata) e quindi non ce la si fa a raggiungere alte velocità, anche perché la sua efficienza aerodinamica è certa-

mente minore della reclinata a pedali, e forse anche di quella con sella (ci si muove con il corpo avanti e indietro); da cui l'applicazione di elezione per il "principio rowing bike" risulta essere per i veicoli carenati stabili, per esempio a tre ruote) (mi chiedo se il pedalò su lunghe distanze vinca sulla canoa); è inoltre da tenere presente il fatto che sono le braccia a permettere il controllo più preciso della direzione e così sono loro, in genere, a venire usate per controllare/manovrare il manubrio. Quindi nella rowing bike, dove vengono usate anche per la propulsione, nelle curve devono smettere di "tirare" la barra del manubrio (vanno fatte a ruota libera). (Nella handbike lo sterzo è fisso e manovrato tra una spinta e l'altra per cui si rendono necessarie (almeno) tre ruote).

II.I.2.1.3 Una volta risolto il dilemma "architetturale" precedente, occorre studiare la migliore direzione di spinta (e trazione grazie ai fermapiedi) e valutare se usare movimenti degli arti alternati o sincroni (tra dx/sx e/o arti inferiori/superiori). Per gli arti inferiori la massima forza è variabile con l'angolo tra coscia e gamba: nella bici con sella lo sforzo è ipotizzato alternato e simmetrico (due pedivelle a 180°), simile (se non si usano i fermapiedi) a quando si salgono le scale, nella bici seduta si spinge/tira lungo una simile direzione, mentre nella "rowing bike" le due gambe spingono contemporaneamente in modo sincrono (un po' come quando si fanno gli squat in palestra o si spicca un salto a gambe unite) così come gli arti superiori che però tirano (in controfase con le gambe) (con i fermapiedi che rendono il gesto più "rotondo").

Normalmente la "spinta" viene impressa con i piedi (per mezzo dei due pedali) come succede nella corsa, ma non è detto che non vi siano altre modalità di "vincolo" per trasmettere la forza degli arti inferiori. Nella bici con sella si cerca di massimizzare la forza trasmissibile con le gambe dal ciclista agendo sul cannotto reggisella, la lunghezze delle pedivelle (fun-

zione del rapporto tra la lunghezza della coscia e quella della gamba, e oggi fissa nel corso della pedalata) e la geometria del telaio. Per quanto concerne il miglioramento della trazione impartita dagli arti superiori e dalla schiena, si vedano le evoluzioni della "rowing bike".

Tutti questi studi devono cercare, nel contempo, di rispettare l'ulteriore "vincolo di naturalità" del movimento e della postura, oltre che dell'appoggio: siamo stati fatti per correre e camminare, non per andare in bici, e ancor meno per stare seduti su una sella che prende solo il perineo, perdipiù rimanendo curvi appoggiati su di un manubrio (in questo senso la bici reclinata è meglio di quella con sella).

II.I.2.1.4 Quando andiamo in bici, per poter cercare di essere indipendenti dall'ambiente esterno dato, e imporre il nostro ritmo, occorre continuamente adattare l'intensità delle nostre forze nel tempo (la nostra potenza) alle curve caratteristiche del proprio particolare "motore umano", attraverso il cambio (Fig. 12), motore evolutosi per ottenere la massima velocità e la massima efficienza nel procedere non in bici, ma a piedi: noi non siamo stati forniti di un cambio, comunque una sorta di adattamento viene attuato "automaticamente" dal cervello variando, oltre che la frequenza, anche l'ampiezza della falcata. Sulla bici, invece, abbiamo bisogno del cambio, a scapito di una leggera perdita di efficienza per via di un (piccolo) incremento di massa, soprattutto se i rapporti sono molto numerosi, e a causa del suo attrito e della (sebbene minima) energia umana che richiede per essere comandato. Esso permette di ottimizzare, su percorsi misti (con salite/discese e accelerate/frenate) l'efficienza della pedalata, accettata una certa "fatica" globale (numero di calorie); tuttavia, come già

visto, nell'ottica di generare meno disordine possibile (minimizzare l'aumento di entropia globale, e quindi anche di fatica) bisogna diminuire la generazione di calore in assoluto, di conseguenza la potenza/velocità e accettare i tempi di percorrenza che l'ambiente determina: in pianura, dilatare i tempi di percorrenza, non usando il cambio e procedendo a velocità basse e costanti fino al limite della nostra pazienza. Se si punta invece alle massime prestazioni velocistiche permesse dal nostro fisico, si può sfruttare il cambio in modo che la potenza trasmessa alla ruota sia sempre il più vicino possibile a quella di picco. Un cambio con rapporti fitti e che permette rapide cambiate in questo caso fa sì che nelle accelerazioni o nei cambi di pendenza si stia poco tempo sotto tale picco.

La tendenza di oggi ad avere un cambio con un sempre maggior numero di rapporti ma di tipo manuale, ossia lasciato alla discrezionalità del ciclista (in relazione quindi anche al suo stato di fatica), lascerà spazio, nel futuro, a cambi a variazione continua con modalità anche adattativa (che faranno la stessa cosa in modo automatico), ossia capaci di minimizzare la distribuzione dello sforzo in funzione della potenza che ci si sente di esprimere (mediante sensori di coppia, come oggi sulle biciclette elettriche a pedalata assistita).

II.I.2.1.5 Aspetti di carattere meccanico/biomeccanico (trasmissione del moto/forza/potenza e loro andamento temporale):

La trasmissione a catena è quella più semplice e leggera per fornire una spinta efficace. Associando ad essa la ruota libera, si garantisce che tale spinta sia sempre in fase con la velocità della bici, in virtù anche della rigidezza della catena. Per far sì

che la forza resistente sia il più costante possibile lungo il ciclo della pedalata, occorre studiare, per il sistema di trasmissione (movimento-centrale/corona/pedivelle/pignoni), forme ad hoc (adattate al singolo ciclista).

Telai rigidi permettono l'ottimizzazione dell'efficienza di spinta perché "trasformano" le forze propulsive (come anche le altre) (in teoria) interamente e direttamente in energia cinetica, senza dissipazione o passaggio in energia potenziale, anche se con ripercussioni sulla sicurezza (si veda più avanti).

Nel futuro, sistemi di trasmissione e telai a geometria variabile e con elementi in grado di accumulare (elasticamente) energia e restituirla in modo efficiente, potrebbero migliorare la fluidità del gesto atletico e quindi l'efficienza della bicicletta.

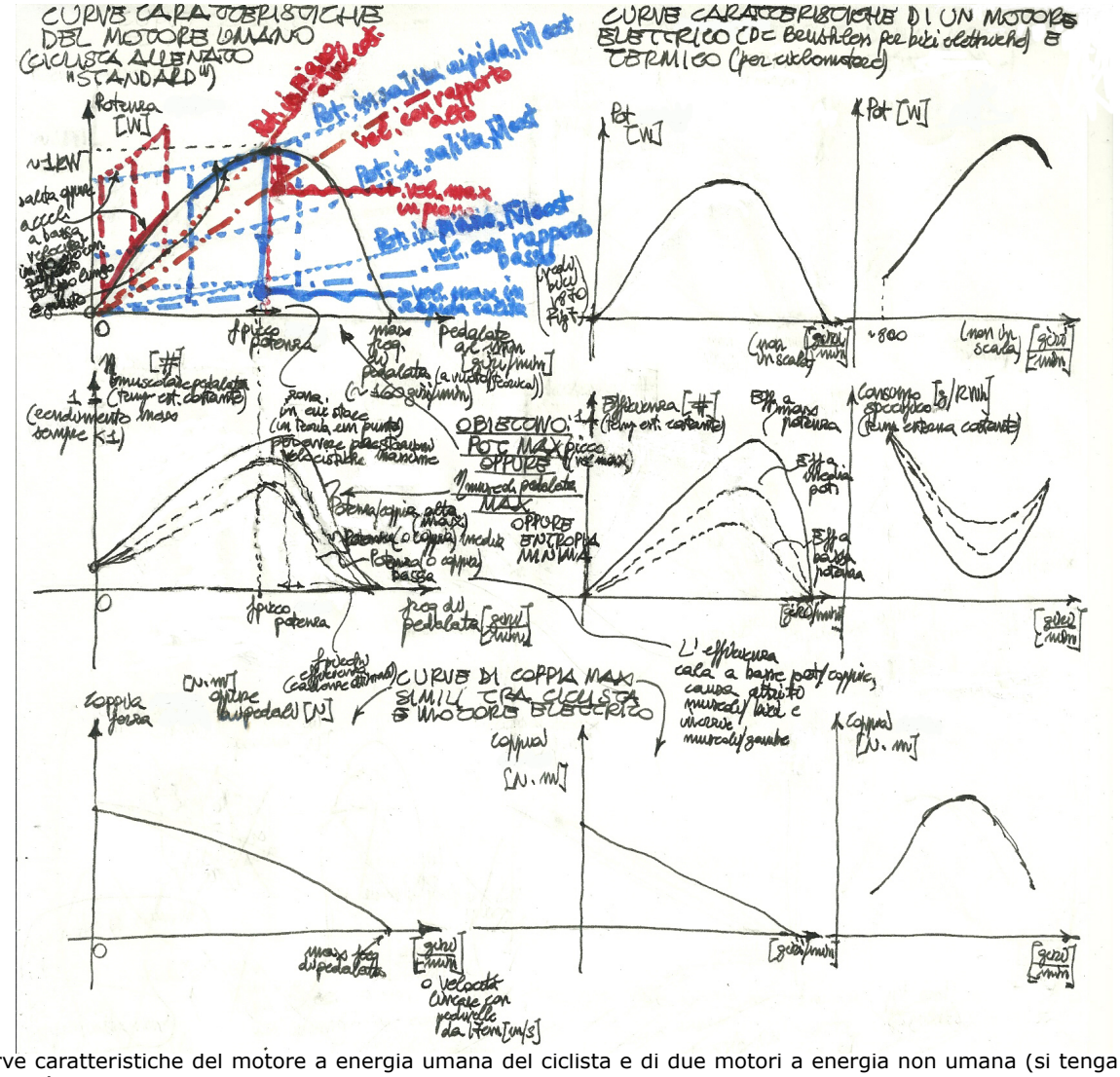


Figura12 Curve caratteristiche del motore a energia umana del ciclista e di due motori a energia non umana (si tenga presente che la curva di coppia è ricavabile da quella della potenza e viceversa).

Poiché le frequenze per la potenza di picco e per la massima efficienza non sono le stesse, questi due obiettivi non possono essere raggiunti simultaneamente (a causa dell'aporia ingenerata dalla creazione di consapevolezza da parte di quello che rimane pur sempre un vincolo). **DISCORSO INF. RATE PER CONTROLLO COME MACCHINA FOTOGRAFICA**

Dal momento che le curve di potenza ed efficienza del motore umano (come anche degli altri motori) non sono piatte, ma variano con la frequenza di pedalata (si parla perciò di potenza di picco e di massima efficienza, e delle rispettive frequenze di pedalata), si rende utile il cambio per raggiungere, in ogni condizione, tale potenza di picco (se si ragiona su brevi periodi) o l'efficienza massima (massima velocità (media) su lunghe percorrenze) (se la curva della potenza o dell'efficienza fosse piatta, basterebbe utilizzare una bici a scatto fisso con un opportuno rapporto, lungo abbastanza per raggiungere, solo in quella determinata condizione (per esempio, in piano o in discesa) la velocità di picco oppure la massima velocità media).

Il cambio, idealmente, dovrebbe avere infiniti rapporti e velocità di cambiata infinitamente rapida, come si chiarirà qui di seguito.

Facendo riferimento al primo obiettivo (potenza massima), nel grafico ad essa relativo (per il caso del ciclista) sono stati considerati due diversi rapporti di trasmissione (intesi come valori complessivi), uno "corto" (in azzurro) ed uno "lungo" (in rosso). Le velocità della bici sono in tratto-punto, le curve di carico (potenze richieste per un certo rapporto) puntinate (variabili a seconda che ci si trovi in piano oppure in salite di varia ripidezza e/o durante accelerazioni di varia intensità (che sono loro equivalenti da questo punto di vista)). Se il rapporto è troppo lungo o troppo corto non si esprime la massima potenza di picco (si vedano gli errori evidenziati sul grafico) e quindi la velocità in quella condizione non è massimizzata (per esempio non si raggiunge la velocità di punta in piano o la massima velocità in salita). Se non ci si trova ad esprimere la massima potenza di picco (la quale non può essere tenuta per lungo tempo, si veda la prima pagina di questa parte: "La sfida dell'efficienza") quindi se da una precedente velocità non di picco si vuole accelerare, oppure se la ripidezza della salita/discesa cambia e si vuole rimanere alla velocità massima possibile (sono tutte situazioni in cui si vuole la massima "agilità"), le cambiate devono essere del giusto rapporto e molto rapide, in modo da raggiungere e stare sempre intorno alla frequenza di pedalata $f_{potenza\text{-}picco}$. Nella fattispecie, in salita i rapporti devono essere particolarmente corti; poiché in bici si deve partire a pedali fermi, essa non necessita di frizione, però, vista la curva di coppia umana non massima a frequenza zero, nell'accelerazione da fermo il primo rapporto dovrebbe essere cortissimo (idealmente tendente a zero) e poi gli "infiniti" rapporti seguenti allungantisi con spaziatura tendente a zero in modo da permettere uno sweep in frequenza della pedalata capace di portare la frequenza nel più breve tempo possibile a quello di massima potenza e di conseguenza il mezzo nel più breve tempo possibile alla velocità di picco (nelle discese la "frizione" è fatta dai muscoli delle gambe, tanto meno necessaria quanto più il rapporto scelto è vicino a quello per la frequenza $f_{potenza\text{-}picco}$).

Sul fronte dell'efficienza, si noti che da $h_{muscolare\ pedalata}$ bisogna poi passare a: $\eta_{andare\ in\ bici}$(velocità, accelerazione) = $\eta_{muscolare\ pedalata,\ totale}$(freq. di pedalata, temp. esterna, ...) x $\eta_{bicicletta+ciclista}$(velocità, accelerazione) e che all'aumentare della velocità (e con l'accelerazione) $\eta_{bicicletta+ciclista}$(velocità, accelerazione) peggiora. Come detto, ciò che conta non è l'efficienza totale, ma l'aumento di entropia e l'energia consumata. Quindi, più si va piano e a velocità costante, e più il disordine esterno e l'energia consumata sono minori (questo è il vero obiettivo ecologico da raggiungere).

La sicurezza

Enormi margini di miglioramento sono possibili sul versante della **sicurezza**, aspetto centrale per il futuro della bicicletta. Si tratta di un problema di tipo "strutturale": il corpo umano non è stato "studiato" per lanciarsi a velocità più elevate di quelle della corsa, per di più su terreni duri e abrasivi come l'asfalto, e con tra le gambe un oggetto rigido, non collassabile (ossia che non assorbe l'urto, per esempio spezzandosi) come è oggi la bici (cosiffatta, come visto, per fornire la massima efficacia di spinta e la massima reattività di controllo, senza un pensiero alla sicurezza): nell'impatto con il terreno (sempre presente) ma anche contro altri corpi anch'essi spesso rigidi e non collassabili, il corpo umano non può non subire danni conseguenti a forze ("impulsive") per lui troppo elevate.

La sicurezza si migliora agendo su due fronti:

1. Diminuendo la probabilità di impatto, ossia:

    1.1. Migliorando la controllabilità del mezzo (Fig. 13).

    1.2. "Perfezionando" (con l'automazione) le forze di controllo stesse, in termini di affidabilità, precisione e prontezza.

2. Diminuendo le conseguenze dell'impatto, che potremmo suddividere un po' scorrettamente in: "inerziali" (quelle possibili a seguito della velocità acquistata dal mezzo) e: "gravitazionali" (quelle contro il terreno conseguenti ad una caduta).

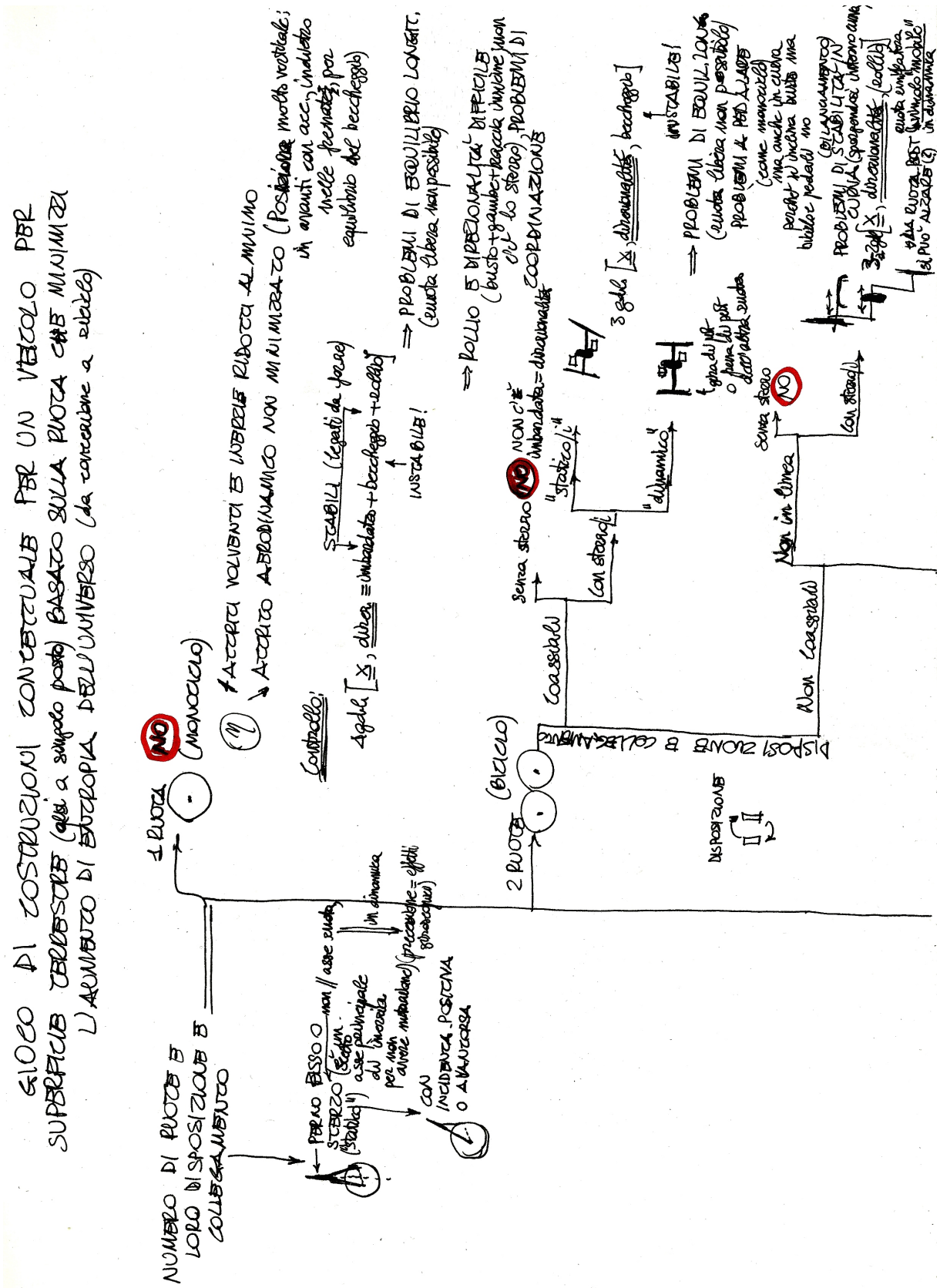
2.

I due fronti attraverso contromisure di tipo "passivo" o "attivo":

A. **Contromisure passive**: hanno effetti sia sulla probabilità di impatto (migliorando solamente la controllabilità del mezzo da parte del conducente) che sulle conseguenze dell'impatto, il tutto con conseguenze variabili sull'efficienza d'utilizzo e su quella di costruzione:

A.1 Sull'architettura (geometria) della bici, per:

A.1.1 Aumentare il limite teorico per la frenata (massima decelerazione) e, nello stesso tempo, diminuire la probabi lità di cadute in avanti dovute alle asperità del terreno: quando vi è alta aderenza (quindi su terreno asciutto e con uno pneumatico morbido) il limite teorico per la frenata (da spostare sempre più in là,
ma da non raggiungere mai nella realtà, pena la caduta) è quello che porta al ribaltamento verso l'avanti, ed è funzione dell'altezza del baricentro complessivo (bici più ciclista) rispetto alla sua distanza dal centro della ruota anteriore; tale rapporto interviene analogamente nella probabilità di ribaltamento in avanti a causa delle asperità del terreno. La bici reclinata costituisce quindi un miglioramento rispetto alla bici con sella la quale, a parità di distanza del baricentro totale dalla ruota anteriore (e quindi, grossomodo, a parità di passo), ha questo rapporto maggiore (sfavorevole), per via del suo baricentro complessivo necessariamente più alto poiché il ciclista sta in posizione eretta su una sella che non può essere avvicinata più di tanto al movimento centrale che a sua volta deve stare ad una distanza minima da terra per poter lasciar girare i pedali


GIOCO DI COSTRUZIONI CONCETTUALE PER UN VEICOLO PER SUPERFICIE TERRESTRE (alla a singolo posto) BASATO SULLA RUOTA CHE MINIMIZZA L'ATTRITO DI ROTOLAMENTO DELL'UNIVERSO (da concretizzare a piacere)
NUMERO DI RUOTE E LORO DISPOSIZIONE E COLLEGAMENTO
1 RUOTA
NO
(monociclo)
ACCENNO VOLUTO E INSTABILE RIDOTTA AL MINIMO
ACCENNO AERODINAMICO NON MINIMIZZATO (Posizione molto verticale; in avanti con acc., inclinato nelle frenate, per equilibrio del beccheggio)
Controllo:
Agile [X, dinam. ≡ imbardata + beccheggio + rollio]
STABILI (legati da frena)
INSTABILE!
⇒ PROBLEMI DI EQUILIBRIO LONGIT. (ruota libera non possibile)
⇒ ROLLIO E DIFFERENZIALITÀ DIFFICILE (busto + gambe + braccia muovine non al lo stesso), PROBLEMI DI COORDINAZIONE
PERNO BASSO O SCERZO (stabile) non // asse ruota, segm. asse principale di inerzia per non avere imbardata
con INCIDENZA POSITIVA O ANALOGA
in dinamica (piccole = effetti giroscopici)
2 RUOTE
(BICICLO)
DISPOSIZIONE E COLLEGAMENTO
DISPOSIZIONE
Carrabile
Senza sterzo
NON C'È imbardata = dinamicità
NO
Con stand.
"statico"
"dinamico"
3 gdl [X, dinamicità, beccheggio]
INSTABILE!
⇒ PROBLEMI DI EQUILIBRIO (ruota libera non possibile) PROBLEMI A PED. LIBERI (come monociclo) ma anche in curva perché si inclina bicicl. ma bicicl. pedali no
Non in linea
Senza sterzo
NO
Con stand.
Non carrabile
PROBLEMI DI STABILITÀ IN CURVA (sparpaglio, inerzia, dinamicità, rollio)
3 gdl [X, dinamicità, rollio]
ruota inclinata, "rimodo inerzia" in dinamica
si può usare BOT (?)

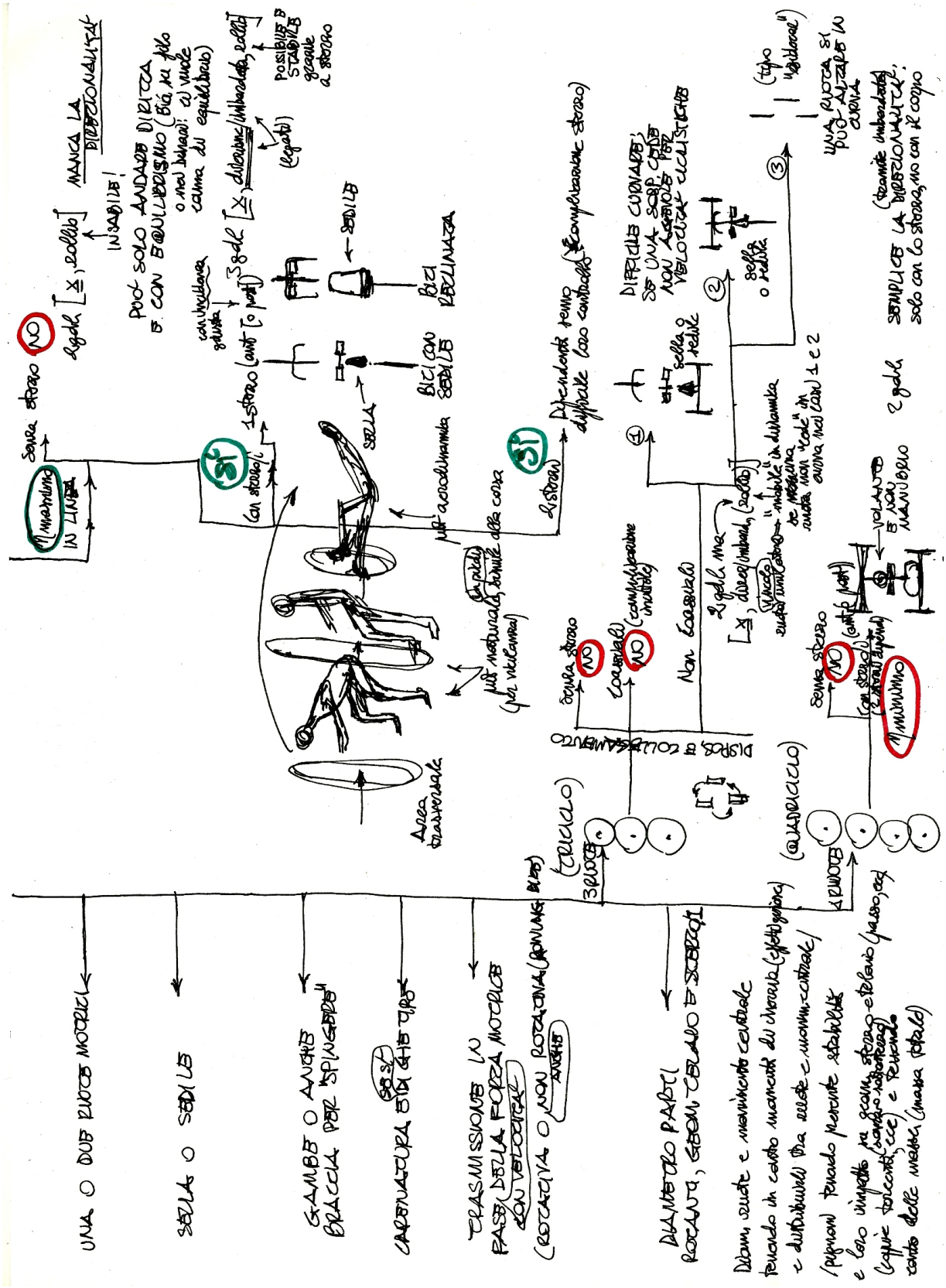

Senza sterzo
NO
Rigidi
Poco solo andando
Manca la direzionalità
Con sterzo
1 sterzo
Sella
Bici con sedile
Bici reclinata
Area trasversale
Non accoglienza
Non naturale
Dipendente tempo
difficile loro controllo
Difficile guidabile
Non sicure
Velocità eccessive
Sella o pedale
Sella o pedale
Semplice la direzionalità
solo con lo sterzo, no con il corpo
Una o due ruote motrici
Sella o sedile
Gambe o anche
Braccia per "spingere"
Carrozzeria
Trasmissione
Pass. della forza motrice
con velocità
(rotativa o non rotativa)
Diametro pari
Rotanti, sempre eretto e sobbalzi
Ruote e movimento centrale
tenendo in centro momento di inerzia
e distribuendo tra ruote e movimento centrale
(pignoni) tenendo presente stabilità
e loro inclinato per scarsa sterzo e stesso
(guide, tracciati, carrello, sobbalzi)
e tenendo
conto delle masse (massa totale)
Bicicletta
Triciclo
Quadriciclo
Senza sterzo
Con sterzo
Minimo

Figura13 Il gioco concettuale della meccanica: dato un campo gravitazionale, costruire il veicolo a ruota/e che minimizza l'aumento di entropia dell'universo per un dato spostamento su una superficie (quella terrestre). La risposta è: il biciclo a propulsione umana con ruote in linea. Il problema/gioco-di-costruzioni si può impostare mettendo a disposizione, come elementi, una o più ruote, degli organi di trasmissione della forza motrice e di frenatura, uno sterzo, se necessario o desiderato, e, soprattutto per il caso qui direttamente analizzato di propulsione umana, una sella/sedile, il tutto vincolato da un telaio. Un importante vincolo addizionale di progetto, condizionante già nella fase di determinazione del numero, disposizione e tipo di collegamento delle ruote, è la controllabilità (guidabilità) del mezzo (con le sue ripercussioni sulla sicurezza), vista l'intenzione ultima di raggiungere qualsiasi punto della superficie con la velocità desiderata.
Siccome bisogna avere tante forze indipendenti di controllo (almeno) quante sono le coordinate libere, una buona direzione di progetto per avvicinarsi alla semplicità di controllo è quella di ridurre, possibilmente, a due soli gradi di libertà (g.d.l.) del mezzo terrestre (in figura sottolineati due volte), ossia allo stretto necessario per definire le coordinate della superficie terrestre, in particolare del punto dove vogliamo portare noi stessi (il nostro baricentro) (non importa se vi giungiamo inclinati, ma non bisogna arrivarvi sdraiati per terra! Siccome la gravità ed il terreno sono sempre presenti, la sicurezza è un aspetto da tenere sempre in conto). Le due coordinate possono essere le più usate in geometria differenziale (u e v), oppure quelle più intuitive che usiamo anche quando andiamo a piedi: coordinata curvilinea di avanzamento e direzione: procediamo lungo una direzione variabile che correggiamo istante per istante strada facendo; eccetto che nel monociclo e nei veicoli con doppio sterzo simmetrico, la direzione può essere sostituita dall'angolo di imbardata ad essa legato. Le coordinate di interesse risultano quindi essere: direzione e avanzamento, oppure imbardata e avanzamento (lo sterzo, quasi sempre presente e agente asimmetricamente sull'anteriore e il posteriore, controlla, in modo indiretto, la direzione o l'imbardata). Nei veicoli a tre o più ruote (non in linea), nelle situazioni dinamiche usuali (non critiche o estreme), i gradi di libertà sono i due minimi necessari. Quando invece i gradi di libertà sono di più, come nel caso della bicicletta, dove se ne aggiunge uno (il rollio), quest'ultimo deve essere tenuto sotto controllo affinché non porti a cadute e, nel contempo, permetta alle velocità (più l'accelerazione) di assumere i valori desiderati. [A causa della presenza dell'azione esterna della gravità e delle forze dinamiche d'inerzia interne al sistema (e sfruttando l'attrito con il terreno), lo sterzo (e quindi le forze che si applicano al manubrio) ha influenza sul rollio, così come le forze del busto che fanno restare inclinata la bici verso centro curva e la rialzano; si tenga in conto tuttavia che questo pendolare del busto è in genere un movimento lento (quasi statico) di bilanciamento]. Ne consegue che, in condizioni dinamiche, il rollio (così come l'inclinazione del busto a seguito delle forze che si applicano a manubrio e telaio) non è una "reale" variabile libera perché, affinché sia mantenuto l'equilibrio delle forze, il rollio risulta imposto da velocità e accelerazione longitudinali che sono libere (e quindi "imposte" dal nostro controllo) e dall'angolo [direzione] e velocità di sterzatura [velocità di variazione della direzione] [non si può guidare solo con lo sterzo, perché non ci sono "ancora" (si veda Fig. 14 sulle bici del futuro) bici con l'incidenza dello sterzo variabile con la velocità longitudinale; tale variabilità sarebbe normalmente applicabile solo a bici curvata, perché senno sarebbe troppo duro impostare la curva ad alte velocità con un'alta incidenza, si veda Fig. 8].
Si parla [per tutti i gradi di libertà] in termini di facilità di controllo, reattività (loro derivate comprese) (per un'analisi, ma solo longitudinale, su percorrenza, velocità e accelerazione, vedere Fig. 6), stabilità (anche Fig. 8) a parità di "sforzo" necessario in termini di forza/energia/potenza (che deve essere adeguato alle facoltà umane, altrimenti ci vogliono motori e servocontrolli) e, per i due di interesse (comprese le loro derivate), di precisione (per esempio lo sterzo guidato dalle sole braccia è preciso perché non richiede una coordinazione strana).

La sicurezza va messa come vincolo di progetto: anche se la massa ridotta di un biciclo rispetto a un veicolo a tre o quattro ruote permette un controllo più reattivo dei due gradi di libertà di interesse a parità di potenza [umana] (anche longitudinale) il suo livello di sicurezza è intrinsecamente minore: l'obiettivo dell'efficienza (diminuzione di attriti e inerzie) è stato raggiunto a scapito della sicurezza, la quale dovrà, in futuro, essere incrementata (si veda nel testo).
Basta anche una sola ruota per costruire un veicolo, ma con il monociclo i gradi di libertà salgono addirittura a quattro, quindi se ne aggiungono altri due a quelli che devono essere tenuti sotto controllo perché non diventino pericolosi (cadute): il beccheggio e il rollio. Il beccheggio (che in questo caso è una componente instabile della configurazione di equilibrio) deve essere "controllato" con una abilità da equilibristi sfruttando le forze del busto e delle gambe sui pedali (con ripercussioni sulla velocità che non è completamente decidibile, ma va a scatti); il rollio, invece, è più facilmente controllabile (sul dritto e nelle curve) grazie alla proprietà di autostabilità della sola ruota (che nei monocicli viene perciò scelta, in genere, con un momento di inerzia grande) dovuta all'effetto giroscopico (Fig. 8): rollio ed imbardata sono legati tra loro (sempre per l'effetto giroscopico); quest'ultima, che coincide in questo caso con la direzionalità (che è uno dei gradi di libertà di interesse), non essendoci lo sterzo (che con la sua geometria garantisce la stabilità nella bicicletta (Fig. 8) e permette di svincolare il controllo delle braccia da quello del resto del corpo) deve essere controllata con più difficoltà giocando sul rollio e con il contributo di una torsione "coordinata" di busto/gambe/braccia (le braccia sbracciano in aria).
La ruota/e è l'unico vincolo [con il terreno] qui analizzato: nel rotolare, oltre allo scontato vincolo di appoggio, riesce a fornire il vincolo della direzionalità al veicolo e quello longitudinale della motricità/frenata. Essa viene anche usata, nei mezzi qui considerati, come principale mezzo di controllo (qui non vengono considerati veicoli spinti e ruotati, per esempio, da motori a reazione o fermati da freni aerodinamici): le forze di controllo agiscono quindi tutte attraverso di essa. Il controllo diretto della sua angolazione viene realizzato per mezzo dello sterzo (ad eccezione del monociclo che ne è privo) ossia agendo su un perno che ha l'asse di rotazione non parallelo all'asse "principale" di rotazione(/inerzia) della ruota, quello passante per il mozzo. Il vincolo della motricità/frenata passa invece attraverso il vincolo di rotolamento: si agisce sull'asse della ruota passante per il mozzo, per mezzo di pedali e trasmissione per l'avanzamento, e attraverso i freni per la frenata. Il tutto per arrivare a controllare, come detto, i soli due gradi di libertà del veicolo che interessano: avanzamento e direzionalità. Queste capacità di vincolo possono essere espletate quando essa è solidale con il terreno (grazie alla gravità e all'attrito). La controllabilità esige però anche che i vincoli siano mantenuti, ossia che non se ne creino all'improvviso di nuovi, da tenere anch'essi sotto controllo: in condizioni dinamiche inusuali (critiche o estreme), quando le forze di inerzia e/o di controllo sono disequilibrate (questo limite dipende anche dal numero di ruote e dalla geometria del mezzo) la ruota/e può perdere (tutte o in parte) le sue caratteristiche di vincolo (e quindi, di conseguenza, di mezzo di controllo): può derapare, ovvero perdere l'aderenza trasversale e quindi la sua capacità di dare la direzionalità; oppure può smettere di garantire il controllo diretto dell'avanzamento (trazione/frenata) cioè può sgommare/arrivare al bloccaggio (la condizione di rotolamento non è più verificata) o addirittura sollevarsi da terra (come nel caso dei tricicli, soprattutto) (nei bicicli a propulsione umana e nei quadricicli, in genere le forze di accelerazione sono compensate dalla geometria del veicolo (per la frenatura invece si veda il testo di questo capitolo)) facendo quindi venire meno sia i vincoli (che potremmo considerare come: "controllo indiretto, implicito") che il controllo diretto su entrambi, avanzamento e direzionalità.

(distanza minima che è raggiungibile nella bici da corsa che è adatta solo alle strade lisce). Si ricordino, a tal proposito, i pericolosi velocipedi, con pedivelle montate direttamente sul mozzo di una gigantesca ruota anteriore (Fig. 7).

Sul fronte della diminuzione della probabilità di impatto dovuta al vento laterale, bici reclinata e "rowing bike" sono avvantaggiate rispetto alla bici "classica".

A.1.2 Diminuire le conseguenze degli impatti di tipo "inerziale", connessi al "problema velocità", utilizzando, per la bici (e la sua eventuale carenatura),materiali adassorbimento d'urto, con conseguenze positive anche sull'efficienza di spinta, come visto più sopra, e disponendo il corpo del ciclista in modo da proteggerne le parti più delicate in caso di urto (se frontale soprattutto la testa) (la bicicletta reclinata, relativamente a quest'ultimo aspetto, probabilmente è preferibile rispetto ad una bicicletta "tradizionale" con sella).

A.1.3 Diminuire le conseguenze degli impatti di tipo "gravitazionale". In linea teorica la bici reclinata sarebbe favorita perché il corpo del ciclista è più in basso rispetto a quando è seduto sulla sella. Tuttavia la bici con sella, che conserva la "postura eretta", permette, in caso di difficoltà, di poggiare subito, in modo più "istintivo", i piedi per terra e quindi risulta più sicura per gli impatti puramente "gravitazionali", ossia riguardo le cadute a bassa velocità (non però per le scivolate). Questa forse è una delle ragioni della sua comparsa in tempi precedenti (Fig. 7) e della sua più ampia diffusione.

A.2 Proteggere il corpo del ciclista: poiché è molto pericoloso lanciarsi ad alte velocità "a corpo nudo", così come madre natura ci ha fatto, dobbiamo indossare il casco e altre protezioni come l'airbag nella tuta (pena, in questo caso, una "considerevole" massa aggiuntiva). Le tute spesse come quelle diffusesi nel motociclismo, ma anche l'airbag, sono tuttavia poco utilizzabili, all'infuori del pieno inverno, perché il corpo del ciclista deve traspirare (nel ciclismo, infatti, il rapporto sforzo/velocità è molto maggiore che nel motociclismo).

B. **Contromisure attive**: diminuiscono la probabilità/conseguenze dell'impatto agendo direttamente sulle forze di controllo. Influenzano negativamente l'efficienza d'utilizzo (oltre che quella costruttiva) perché richiedono potenze e forze "impulsive" (che in certi casi possono diventare elevate) e per via della loro massa. Con esse si raggiunge un controllo (in curva soprattutto) ancora superiore a quello ottenibile con le fantastiche capacità di controllo umane tanto decantate in questo libretto, e si sopperisce anche alle loro défaillances. Si utilizzano sensoristica e attuatori (a energia umana (del ciclista) accumulata o anche a energia non umana) più precisi, pronti e potenti dei "corrispondenti" umani (più reattivi dei riflessi, per esempio) e capaci pure, dal punto di vista probabilistico, di "sopperire" alla fallibilità umana, distrazioni comprese. Come notato in Fig.13, essi si rivelano provvidenzialmente utili, in particolare, quando uno o più vincoli cedono e nascono così all'improvviso dei gradi di libertà addizionali da tenere sotto controllo, per esempio durante una sbandata/derapata o quando il controllo longitudinale non può più essere efficace (se si slitta in frenata o in accelerazione). Più il numero delle ruote del mezzo diminuisce e più il compito del controllo (umano o non umano) diventa arduo perché i gradi di libertà che il pilota deve controllare aumentano (si veda la Fig.13). E' pur vero che la bici, grazie alle sue basse inerzie, è più reattiva nei confronti delle forze di controllo di quanto non lo siano i veicoli con più ruote,

ma la maggiore difficoltà di controllo per via delle due sole ruote permane ed è una conseguenza sfavorevole dell'incrementata efficienza. Nella bicicletta è quindi particolarmente impellente il miglioramento della sicurezza anche con misure di tipo attivo, quali l'adozione di:

B.1 Limitatore automatico di velocità, particolarmente utile in discesa: il ciclista esperto il più delle volte modula la velocità da sé in modo corretto (è "prudente"), ma il limitatore automatico è capace di farlo in funzione di tutte le condizioni al contorno (ambientali): coefficiente di attrito della strada, larghezza della strada, vie di fuga, presenza e distanza/velocità di altri corpi/veicoli, etc.. Esso si può evolvere in un sistema di frenatura automatica utilizzante sistemi di rilevamento ostacoli come radar a laser o altri sensori di distanza.

B.2 Sistema di controllo della stabilità (più correttamente, dal punto di vista matematico, dell'equilibrio), attraverso una sensoristica di tipo "inerziale" (nel senso non-relativistico) (per esempio giroscopica): si richiede un sistema più complesso di quello per i veicoli a tre o più ruote, perché esso deve controllare non solo l'imbardata, ma anche il rollio che nei veicoli a due ruote può portare a cadute (ossia al contatto con il terreno non più attraverso le ruote). L'aderenza tra pneumatico e strada, oltre che per la direzionalità e la motricità, è fondamentale per l'"equilibrio rispetto al rollio" (si veda la Fig.9). Diversamente dal sistema ESP dei veicoli a quattro ruote, nei bicicli non è sufficiente controllare la frenata di ogni ruota, ma occorre, oltre ad avere entrambe le ruote motrici, controllare indipendentemente la sterzatura di ognuna di esse; in particolare: per controllare la derapata al posteriore serve controllare lo sterzo anteriore e la motricità della ruota posteriore; per evitare la perdita dell'anteriore, serve la ruota anteriore motrice e lo sterzo posteriore controllabi-

le automaticamente. (Si potrebbe, in aggiunta, o in alternativa, dotare il mezzo di uno (o due) sterzi con avancorsa variabile: in caso di perdita di stabilità in curva, per esempio l'avancorsa anteriore si dovrebbe ridurre repentinamente (è forse più facile ridurre l'avanzamento che non l'incidenza)).

B.3 Sistema ABS per le frenate.

B.4 Sistema antipattinamento per le accelerazioni (controllo della trazione).

B.5 Sistema di avviso di uscita di strada/corsia con correzione automatica della traiettoria.

Fino ad arrivare ad una guida completamente automatica, per arrivare alla quale non è arduo pensare che in futuro i veicoli a due ruote adotteranno controlli che saranno svincolati dalla/e ruota/e, come sistemi a reazione e freni aerodinamici impossibili da gestire da parte di noi umani (in questo caso infatti, come visto (Par. II.1) l'equilibrio deve essere controllato passando attraverso un sistema di forze propulsive e di reazione inconsueto e "insidioso" per le nostre capacità umane).

La bicicletta è il risultato di una impudente sfida dell'uomo alla selezione naturale, una sfida che, tuttavia, forse per senso di "lealtà" o di vicinanza verso gli altri essere viventi, decide di restare, per la scelta della fonte di energia, all'interno del mondo biologico, accettando, e prendendola come ulteriore sfida, la limitatezza del fisico umano. L'invenzione dei motori ha invece il carattere di una sfida quasi irriverente verso la natura: con il potere della nostra mente ci si è voluti svincolare dai fondamenti energetici su cui opera la vita. Il motore elettrico ha $\eta_{\text{motore elettrico}}$(regime di rotazione, temp. esterna) > $\eta_{\text{muscolare pedalata}}$(frequenza di pedalata, temp. esterna), ma $\eta_{\text{motore elettrico, totale}} < \eta_{\text{muscolare pedalata, totale}}$ perché in genere: $\eta_{\text{industria elettrica}} < \eta_{\text{produzione del cibo}} \times \eta_{\text{vegetali}} \times \eta_{\text{animali}}$ e ancor più $\eta_{\text{industria elettrica}} < \eta_{\text{vegetali}}$. Quando però l'energia elettrica (che è una forma di energia ordinata [è molto ben localizzata, tranne la poca che viene irradiata o dispersa in calore] che non si trova direttamente disponibile in natura) viene ricavata da pannelli fotovoltaici o centrali idroelettriche, il bilancio energetico *a lungo termine* (ossia dopo che si è recuperata l'energia spesa per la produzione delle centrali o dei pannelli) si accompagna ad un impatto ambientale "limitato" in termini di inquinanti (CO_2 compresa), ciò può forse andare a favore dell'utilizzo di veicoli elettrici leggeri. In questo caso si ha sempre $\eta_{\text{bicicletta elettrica}}$(velocità, accelerazione) > $\eta_{\text{mezzo elettrico diverso dalla bicicletta}}$(velocità, accelerazione) per via della massa e semplicità della bicicletta.

La sostanziale differenza tra veicoli a propulsione umana e non, è che, nel secondo caso, l'energia motrice per il nostro uso personale non viene domandata direttamente al nostro corpo (la nostra energia fisica può allora essere destinata ad altri usi o, "pigramente", non essere utilizzata affatto), ma viene prelevata dall'ammontare del "patrimonio" energetico della collettività a cui, in genere, abbiamo contribuito

con uno sforzo fisico personale minore. Ma considerato il danno ambientale che la sua produzione comporta, esso dovrebbe essere riservato prioritariamente alle persone (le quali spesso non lo chiedono) che non hanno (più) energia fisica a sufficienza (per spingere avanti la bicicletta *e quindi* stare in equilibrio su di essa), come le persone anziane; allorquando tale energia (che sembra) slegata dalla fatica viene sottratta indebitamente, senza rispetto per gli altri/ambiente (per chi ne ha davvero bisogno), da chi vuole amplificare smodatamente con i motori le proprie energie fisiche ancora nel pieno della loro efficienza.

La bicicletta è oggi il mezzo di locomozione più in sintonia, più in *equilibrio*, con la Natura. In conseguenza dell'auspicato miglioramento della sicurezza (con lo sviluppo soprattutto di quella attiva), diminuirà un po' d'efficienza per migliorare questo suo problema intrinseco.

Mossa da questa e da tutte le altre sfide, grazie a come diventerà, confermerà di essere il veicolo del futuro, il veicolo per chi possieda ancora integre le proprie forze o sappia accontentarsene.

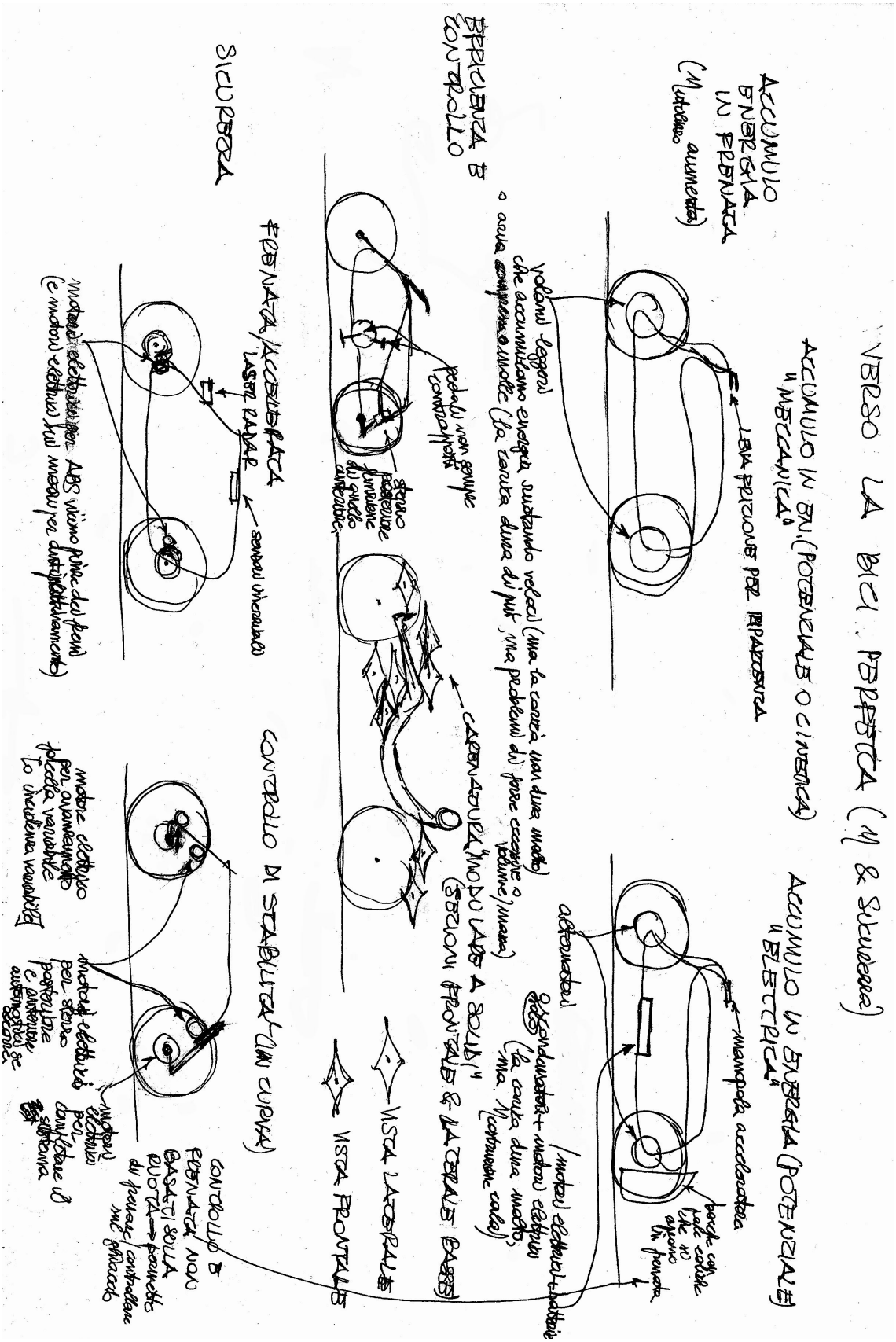


Figura14 Alcuni spunti per migliorare in futuro la bicicletta. PERFETTA nel Titolo tra virgolette

Impaginato con LibreOffice

Progetto Mathforlife
Via Sant'Agostino, 8
10122 Torino

Un e-book ad accesso libero, aperto ai commenti e contributi dei lettori.

Una prima parte poetica (pagine a numerazione positiva), una seconda tecnica (pagine a numerazione negativa), l'una che completa l'altra, formando un libro con una struttura circolare.

ANDREA PAOLINI alterna la scrittura (racconti, teatro, romanzi) con l'attività di ingegnere.
Sta portando avanti un progetto di censimento degli alberi nei cortili cittadini (www.specialcitizens.net).